

Номер 3

ISSN 0869-5873

Март 2025



ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



НАУКА

— 1727 —

ВСПЕВЕДАШНІ ДЕРЖАВ
НАУКА

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2025

Организация исследовательской деятельности

- А.Е. Гуськов, Д.В. Косяков, О.Д. Халявин, И.Г. Лакизо*
Кадровое обеспечение науки Дальнего Востока 3
-

Точка зрения

- В.П. Ильин*
Вызовы машинного обучения и математическое моделирование 15
- Ю.П. Галченко*
Обеспечение углеродной нейтральности использования минерального топлива в энергетике 25
-

Из рабочей тетради исследователя

- А.В. Виноградов, Д.В. Ласточкина, Л.А. Хамидуллина, И.С. Пузырев, С.В. Сазонов*
Персонализированные стратегии диагностики и лечения острых миелоидных лейкозов у больных разного возраста в условиях глобальной инфекционной угрозы 34
- О.В. Ходакова, А.А. Латышова, И.А. Соломатников*
Анализ объёмов реализации мер социальной поддержки медицинских работников в Российской Федерации 41
-

Обозрение

- В.А. Кулагин, Д.А. Грушевенко, А.А. Галкина*
Города будущего: особенности функционирования и требования к энергоснабжению 48
-

Размышления над новой книгой

- Е.Т. Артёмов, Н.П. Волошин*
Научные лидеры Уральского ядерного центра 58
-

Этюды об учёных

- Н.А. Горячев*
Стратиграфия сквозь призму пространственно-временного измерения
К 90-летию со дня рождения академика К.В. Симакова 69
- М.Б. Конашев*
“Нет, очевидно, не такова моя натура”
К 125-летию со дня рождения Ф.Г. Добржанского 77
-

Официальный отдел

- Большая золотая медаль Российской академии наук имени М.В. Ломоносова 2024 года 91
-

CONTENTS

No. 3, 2025

Organisation of research activity

- A.E. Guskov, D.V. Kosyakov, O.D. Khalyavin, I.G. Lakizo*
Science staffing in the Far East 3
-

Point of view

- V.P. Ilyin*
Challenges of machine learning and mathematical modeling 15
- Yu.P. Galchenko*
Ensuring carbon neutrality of the use of mineral fuels in the energy sector 25
-

From the researcher's notebook

- A.V. Vinogradov, D.V. Lastochkina, L.A. Khamidullina, I.S. Puzyrev, S.V. Sazonov*
Personalized strategies for the diagnosis and treatment of acute myeloid leukemia in patients of different ages in the context of a global infectious threat 34
- O.V. Khodakova, A.A. Latyshova, I.A. Solomatnikov*
Analysis of the volumes of implementation of social support measures for medical workers in the Russian Federation 41
-

Review

- V.A. Kulagin, D.A. Grushevenko, A.A. Galkina*
Cities of the future: operating features and energy supply requirements 48
-

Reflections on a new book

- E.T. Artemov, N.P. Voloshin*
Scientific leaders of the Ural nuclear center 58
-

Profiles

- N.A. Goryachev*
Stratigraphy through the prism of the space-time dimension
On the 90th anniversary of the birth of academician K.V. Simakov 69
- M.B. Konashev*
“No, obviously that’s not my nature”
On the 125th anniversary of the birth of Th. Dobzhansky 77
-

Official Section

- The Great Gold Medal of the Russian Academy of Sciences named after M.V. Lomonosov 2024 91
-

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАУКИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

© 2025 г. А.Е. Гуськов^{а,*}, Д.В. Косяков^{а,***}, О.Д. Халявин^{а,****}, И.Г. Лакизо^{а,*****}

^аРоссийский институт экономики, политики и права в научно-технической сфере,
Москва, Россия

*E-mail: guskov.andrey@gmail.com

**E-mail: kosyakov@sciencepulse.ru

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

****E-mail: 1440@list.ru

Поступила в редакцию 06.02.2025 г.

После доработки 12.02.2025 г.

Принята к публикации 21.02.2025 г.

Кадровый дефицит исторически считается одним из основных препятствий на пути развития дальневосточной науки. Цель предпринятого исследования — оценка кадрового обеспечения науки Дальнего Востока. По данным Scopus за 2000–2021 гг., были выявлены 12 448 авторов из этого региона и для них рассчитаны показатели, характеризующие динамику кадров, академическую мобильность, академический, университетский и прочие секторы науки, дисциплинарную специализацию. Выявлены расхождения между данными государственной статистики и публикуемыми исследователями, что может свидетельствовать о неполной реализации кадрового потенциала. Показано, что 87.6% дальневосточных учёных не работали за пределами своего города и лишь 2.6 % имеют опыт работы за рубежом, а также что миграция отрицательно влияет на кадровую динамику научной сферы региона. Кадровый состав вузов и научно-исследовательских институтов Российской академии наук отличается по опыту и квалификации. В научно-исследовательских институтах РАН больше доля опытных сотрудников, которые чаще публикуются в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus. В то же время вузы активно готовят новых авторов, тем самым компенсируя выбытие дальневосточных исследователей. Среднюю текучесть научных кадров в 2016–2021 гг. можно оценить в 28.9 %. Научная специализация Дальнего Востока значительно отличается от общероссийской в пользу наук о Земле, окружающей среде, сельском хозяйстве и биологии. Дополнены и расширены сведения о кадровом обеспечении дальневосточной науки, предоставляемые государственной статистикой.

Ключевые слова: Дальний Восток, научный потенциал, кадровое обеспечение, кадровый потенциал, академическая мобильность, наукометрический анализ, Scopus.

DOI: 10.31857/S0869587325030015, **EDN:** CTLGNF

Дальний Восток имеет стратегическое значение для нашей страны. Развитие этого региона во многом зависит от сферы исследований и разработок. Рост научного кадрового потенциала на Дальнем Востоке в XX в. обеспечивал приток учёных из центральной России во время Гражданской войны, а затем “за счёт принудительной мобилизации специалистов из центра и привлечения выпускников местных вузов” [1]. Однако сложные климатиче-

ские условия, большая протяжённость территории, удалённость от традиционных центров расселения, малонаселённость снижают эффективность усилий по развитию региона, и сфера исследований вряд ли является исключением.

Об этом свидетельствует неоднозначная динамика ряда статистических показателей региона. Так, в 2019–2021 гг. сократилась численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками.

ГУСЬКОВ Андрей Евгеньевич — доктор технических наук, заведующий лабораторией наукометрии и научных коммуникаций РИЭПП. КОСЯКОВ Денис Викторович — заместитель заведующего лабораторией наукометрии и научных коммуникаций РИЭПП. ХАЛЯВИН Олег Дмитриевич — инженер-исследователь лаборатории наукометрии и научных коммуникаций РИЭПП. ЛАКИЗО Ирина Геласиевна — кандидат педагогических наук, научный сотрудник лаборатории наукометрии и научных коммуникаций РИЭПП.

ми (с 13.9 тыс. до 13.4 тыс. человек), численность исследователей (с 7.2 до 6.7 тыс.) и молодых исследователей (с 2.5 до 2.2 тыс.), кандидатов и докторов наук (с 3.3 до 3.1 и с 0.9 до 0.8 тыс. соответственно). Снизилась доля молодых учёных среди всех исследователей (с 34.8 до 32.7%). Дальневосточный федеральный округ (ДФО) находится на предпоследнем месте в стране по многим показателям развития научной инфраструктуры и кадрового обеспечения [2].

С опорой на данные государственной статистики выделяют следующие особенности кадрового обеспечения дальневосточной науки [3]:

- стабильно низкая доля ДФО в общей численности учёных и исследователей страны;
- устойчиво более низкая численность научных коллективов в регионе по сравнению с Россией в целом, относительно постоянный состав научных коллективов;
- старение научного персонала, более высокая доля лиц старше 60 лет по сравнению с общероссийскими показателями.

Современные исследования кадрового обеспечения дальневосточной науки охватывают период 2000–2021 гг. Они базируются преимущественно на данных государственной статистики и показывают, что в ДФО складывается неблагоприятная обстановка с точки зрения сохранения и развития кадрового потенциала: сокращается подготовка кадров высшей квалификации [3–5], растёт доля неостепенённого научно-преподавательского состава в вузах [5], сохраняется отрицательное saldo миграции лиц с учёными степенями [6] и высокая доля учёных старше 60 лет [3]. Наряду с устойчивым составом и небольшой численностью научных коллективов на Дальнем Востоке обращает на себя внимание миграция учёных в другие регионы [3, 6]. Имеющийся кадровый потенциал реализуется не в полной мере [5, 7].

Необходимо отметить, что данные Росстата остаются не только основным, но зачастую единственным источником сведений о кадровом обеспечении дальневосточной науки. Поэтому выявлять ошибки в этих сведениях сложно, что приводит к систематическим искажениям и противоречивым оценкам. Например, отмечается, что “количество исследователей в ДФО практически не изменилось с 2010 г., в то время как в целом по России оно сократилось на 8%” [3], что доля исследователей с учёной степенью здесь почти в 2 раза больше, чем в среднем по стране [7]. С другой стороны, нередки и тревожные оценки: удельный вес занятых научно-исследовательской работой в общей численности занятого населения в ДФО один из самых низких в России [8]. Искажённое представление о развитии кадрового потенциала науки может складываться вследствие расширения состава субъектов, входящих в ДФО: после 2019 г. показатель “количество персонала в исследованиях и разработках на 1 млн населе-

ния” в ДФО снизился почти в 2 раза больше, чем общероссийский. Однако нужно учитывать, что это произошло в результате увеличения численности населения округа за счёт присоединения к нему регионов Восточной Сибири [7].

Данные Росстата содержат индикаторы, характеризующие кадровый состав в разрезе возраста, должности, квалификации, отраслевой принадлежности и др. Однако этого недостаточно для построения полной картины кадровой структуры и анализа её динамики, для сравнения кадрового обеспечения организаций различных типов, для понимания значения тех или иных каналов пополнения и сокращения исследовательского корпуса. Поэтому применение альтернативных источников информации, в частности наукометрических баз данных, может способствовать расширению эмпирической базы и позволит уточнить представления о формировании кадрового потенциала науки.

Таким образом, цель исследования — анализ кадрового обеспечения исследований на Дальнем Востоке, включая кадровую динамику, сопоставление академического и университетского секторов науки, академическую мобильность и дисциплинарную специализацию.

В качестве исходных данных использовалась копия базы данных Scopus, содержащая 35.2 млн идентифицированных авторов и 57 млн их публикаций в период 2000–2022 гг. (последний год — частично). Из этого числа были отобраны авторы, которые имели хотя бы одну публикацию, аффилированную с организацией из России; таких оказалось 411 533 человека. Из них была сформирована основная выборка — 12 448 авторов, аффилированных с одним из дальневосточных населённых пунктов и имевших не менее двух публикаций. В тех случаях, когда анализировалось текущее состояние, использовалась дополнительная фильтрация по авторам, имеющим публикации в 2019 г. и позже; таких оказалось 7 423 человека.

Для каждого автора была сформирована история его публикаций, из которой выделена аффилиационная история — массив данных о том, в какие годы с какими организациями был связан каждый из них. На основании этого определялись регион и город, к которым относится автор [9, 10].

Чтобы выявить тип организации, использовался справочник организаций, сформированный и проверенный вручную. Было определено три типа учреждений: НИИ РАН¹, вузы и прочие организации. Рассматривались только те организации, к которым были отнесены хотя бы 10 авторских профилей; они охватили 91.3% всех дальневосточных авторов.

¹ Научно-исследовательские институты Российской академии наук (НИИ РАН) — институты, ранее подведомственные государственным академиям наук, которые в настоящее время подчиняются Минобрнауки России, а научно-методическое руководство над которыми осуществляет РАН.

Кроме того, для авторов была определена основная тематика их публикаций в соответствии с классификатором по All Science Journal Classification (ASJC), который используется в Scopus. С этой целью исходя из тематики публикаций (равной тематике журналов, где работы были напечатаны), для каждого автора составлялось вероятностное распределение его тематик и в качестве основной выбиралась наиболее вероятная тематика.

Очевидным недостатком методики можно считать определённое несоответствие авторов, которые публикуются в изданиях, индексируемых в Scopus, реальной совокупности дальневосточных учёных. Не каждый исследователь публикуется в изданиях, индексируемых в этой базе данных, как не каждый автор является исследователем. Чтобы выявить расхождения первого типа дополнительно анализировались данные Росстата и РИНЦ, расхождения второго типа в рамках данной работы не рассматривались.

Общие сведения об организациях и исследователях. По данным Росстата [27], в 2020 г. научные исследования и разработки в ДФО выполняли 235 организаций; 65% из них располагаются в четырёх субъектах ДФО: Приморском и Хабаровском краях, Республике Саха (Якутия), Республике Бурятия. В этих субъектах заняты 76.3% исследователей округа (рис. 1). Лидерами по численности исследователей являются субъекты, в которых расположены федеральные университеты: Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ) в Приморском крае и Северо-Восточный федеральный университет (СВФУ) в Республике Саха (Якутия). В этих двух федеральных университетах сосредоточено большинство авторов в ДФО по Scopus: с ДВФУ аффилировано 927 авторов, с СВФУ — 670. Далее следуют два академических НИИ: Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН (295 авторов) и Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (258 авторов).

Численность авторов, аффилированных с дальневосточными научными организациями и вузами, не совпадает с численностью исследователей по данным официальной статистики. По-видимому, официальная статистика недооценивает исследовательский потенциал таких субъектов, как Приморский край и Республика Саха (Якутия), Республика Бурятия, Амурская область и Забайкальский край. Превышение числа авторов над числом исследователей может объясняться тем, что профессорско-преподавательский состав не относится к исследователям и не учитывается в их числе, а также активным участием студентов, аспирантов и вспомогательного персонала в исследованиях. Напротив, в Хабаровском и Камчатском краях, Магаданской и Сахалинской областях кадровый потенциал переоценён: число авторов журналов, индексируемых Scopus, в этих субъектах заметно меньше числа исследователей. Чаще всего это связано с низкой публикационной активностью в ведущих мировых изданиях.

Академическая и университетская наука. Рассмотрение кадровой структуры ДФО позволяет выделить группу субъектов с преобладанием академических исследователей (Приморский край, Республика Бурятия, Камчатский край, Магаданская область) и группу с преобладанием вузовских исследователей (Республика Саха, Хабаровский край, Забайкальский край) (см. рис. 1).

На Дальнем Востоке наблюдается относительный паритет между академической и вузовской наукой по количеству авторов (табл. 1). Он достигается за счёт крупных университетов — ДВФУ и СВФУ, с которыми аффилирована примерно половина университетских авторов. Если исключить из рассмотрения эти два крупнейших вуза и НИИ РАН, то средняя численность авторов на организацию, оставшихся в обеих группах, будет примерно одинакова — около 60. Помимо них к категории “Прочие” были отнесены организации, среди сотрудников которых более 10 публикующихся в Scopus авторов. Эти

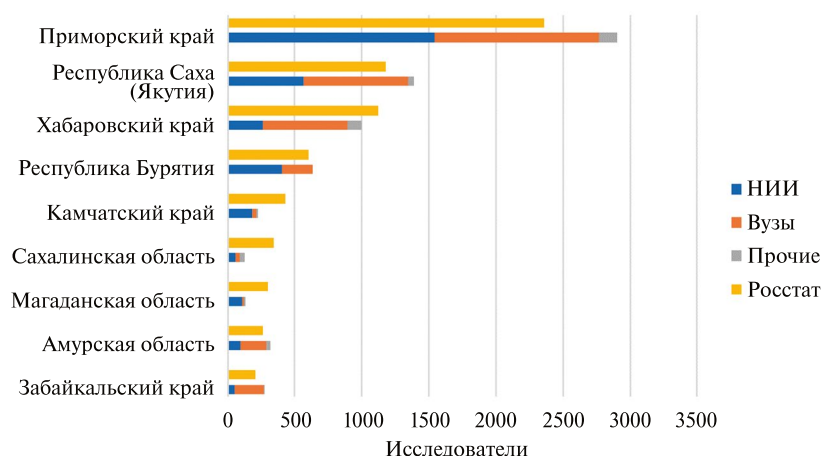


Рис. 1. Сравнение данных Росстата и Scopus (с разбивкой по типам организаций) за 2016–2021 гг.

Источник: Росстат, расчёты авторов.

Таблица 1. Распределение организаций и авторов ДФО, публикующихся в изданиях Scopus, по видам организаций, 2016–2021 гг.

Вид организации	Количество организаций	Количество авторов
НИИ РАН	47	3261
Вузы	31	3295
Прочие	9	220
Организации, с которыми аффилировано менее 10 авторов	—	646
ИТОГО:	87	7423

учреждения подведомственны Министерству здравоохранения РФ, Министерству сельского хозяйства РФ, Роспотребнадзору. Организации коммерческого сектора встречаются в этой группе крайне редко — практически вся видимая на международном уровне наука Дальнего Востока сосредоточена в государственных учреждениях.

До 2011 г. количество авторов в ДФО увеличивалось равномерно (рис. 2). По большей части это происходило за счёт авторов из НИИ РАН. После изменения научной политики в 2012 г. начался взрывной рост числа авторов из вузов, продолжавшийся до 2020 г. [11], причём расширился и контингент авторов из институтов РАН. После 2020 г. началась обратная тенденция, что может быть связано или с изменением публикационных стратегий на фоне снижения господдержки учёных в 2019–2020 гг. [12], или с сокращением числа активных исследователей в регионе [2]. (По данным официальной статистики численность исследователей в ДФО за период 2019–2021 г. уменьшилась с 7.2 тыс. до 6.7 тыс. человек.)

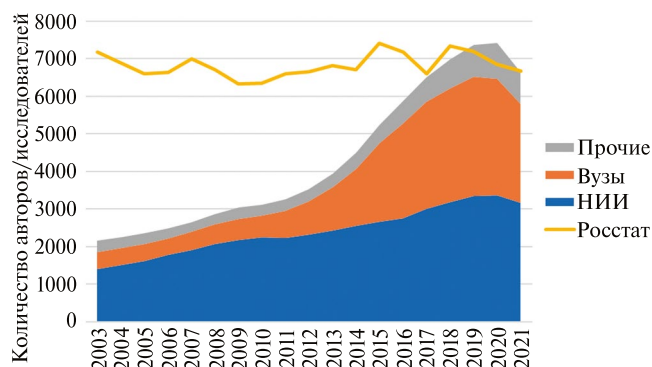
Кадровая динамика и академический возраст. Структура и динамика количества публикующихся в Scopus исследователей в НИИ РАН и вузах Дальнего Востока существенно различаются (рис. 2). В академическом секторе заметна группа опытных исследователей, чей академический возраст² превышает 20 лет (рис. 3). Размер этой группы постепенно сокращался, однако ежегодный приток новых авторов не только компенсировал эту убыль, но и обеспечивал устойчивый рост вплоть до 2020 г.

Иная ситуация наблюдается в вузах ДФО. Новая научная политика, направленная на рост количества публикаций в Web of Science и Scopus и интенсификацию развития университетской науки, стала для них стимулом к увеличению числа публикующихся исследователей [13, 11]. В период 2013–2020 гг. вузы активно привлекали новых авторов из числа уже работающих преподавателей, которые ранее не публиковались в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus, а также аспирантов и студентов.

² Академический возраст — количество лет с момента первой публикации.

Как видно из рисунка 3, более 80% авторов из вузов ДФО опубликовали первую статью в Scopus только после 2012 г. Если до 2012 г. академический сектор постепенно рос, а университетский стагнировал, то после 2012 г. последний начал расти в несколько раз быстрее, чем первый. При этом наряду с увеличением числа новых авторов в вузах наблюдается и заметный их отток. Его составляют как студенты и аспиранты, прекратившие заниматься исследованиями после окончания обучения, так и преподаватели, которые со временем перестали стремиться публиковаться в ведущих научных журналах. Особый интерес представляет вопрос о том, насколько эффективной оказалась политика принуждения преподавателей к научной деятельности на мировом уровне. Он, безусловно, требует специального исследования, однако в рамках этой работы мы сделали приблизительную оценку, сопоставив публикационную активность в Scopus и РИНЦ.

С этой целью была сформирована случайная выборка из 80 авторов, которые опубликовали свои первые работы в Scopus в 2014–2016 гг., будучи аффилированными с организациями ДФО. Из них 52 человека работали в вузах, 19 — в НИИ РАН, для 8 не удалось найти соответствующие профили в РИНЦ, а 1 человек перешёл на работу в НИИ РАН из Москвы. Оказалось, что из 71 человека, которые

**Рис. 2.** Динамика количества авторов по видам организаций

Источник: расчёты авторов.

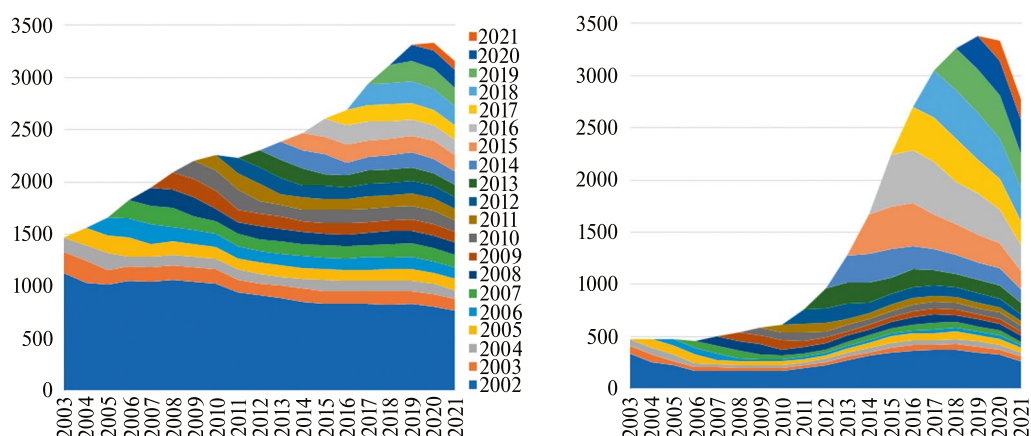


Рис. 3. Академический возраст исследователей, слева — НИИ РАН, справа — вузы
По горизонтальной оси — год первой публикации в Scopus; по вертикальной оси — численность авторов, человек
Источник: расчёты авторов.

продолжали публиковаться с аффилиациями дальневосточных учреждений, две трети опубликовали свою первую работу в журнале, индексируемом в РИНЦ, на 6 и более лет раньше, чем в Scopus; иными словами, к 2014 г. они уже имели опыт исследовательской деятельности.

Анализ профилей 71 автора в РИНЦ показал, что к 2024 г.:

- почти четверть этих авторов прекратила публиковаться (16 человек, из них 12 — из вузов);
- три четверти продолжают научную карьеру в ДФО (55 человек), причём почти все они имеют свежие публикации в журналах Scopus и РИНЦ (39 человек, из них 12 работают в институтах РАН и 27 — в вузах; после 2020 г. около четверти прекратили публиковаться в Scopus, но продолжают публиковаться в РИНЦ — 16 человек, из них 13 — сотрудники вузов).

Таким образом, из этой выборки продолжают публиковаться в Scopus две трети авторов из НИИ РАН (12 человек) и половина — из вузов (27 человек), а в РИНЦ — 3 и 13 человек соответственно.

Чтобы детально рассмотреть изменение кадрового обеспечения, в исследовании сравнивались два периода: 2016–2018 и 2019–2021 гг. Для каждого из них сформирован список авторов, аффилированных с дальневосточными организациями. Между указанными периодами численность авторов из научных и образовательных учреждений ДФО увеличилась почти на 30% — с 4263 до 6697 человек. Это произошло на фоне уменьшения (по данным Росстата) численности исследователей в ДФО с 7041 до 6905 человек. С чем связаны эти расхождения?

Во-первых, вплоть до 2019 г. интенсивно увеличивалось число российских исследователей, имеющих публикации в Scopus; затем рост замедлился.

Хотя доля таких авторов заметно выросла, многие российские исследователи продолжают публиковаться исключительно в отечественных изданиях, не претендующих на попадание в ведущие мировые базы данных. Во-вторых, в число авторов нередко входят студенты и аспиранты, которые, не являясь кадровыми исследователями, оказываются соавторами серьёзных статей.

На рисунке 4 показано, что на текучесть кадров влияют процессы академической мобильности. Так, в период 2016–2021 гг. на работу в дальневосточные организации из других российских регионов приехали 295 человек, а уехало заметно больше — 372 человека. Вероятно, это связано с общим оттоком кадров из региона [14–16]. Что касается публикаций, то убыль исследователей компенсирует появление новых авторов, причём их значительно больше, чем тех, кто перестал публиковаться в связи с завершением научной карьеры или по другим причинам. За пять лет в ДФО появилось 2139 новых авторов, не имевших ранее публикаций Scopus, в то время как прекратили публиковаться 1347 человек. Таким образом, в 2016–2021 гг. общие потери исследователей составили 1729 человек, тогда как 4263 автора продолжали публиковаться. Следовательно, среднюю текучесть исследовательских кадров за этот период можно оценить в 28.9%.

Академическая миграция. С целью изучения академической миграции дальневосточных исследователей каждому автору был присвоен один из миграционных статусов, в соответствии с правилами, разработанными авторами этой статьи (рис. 5).

Кадровый потенциал науки Дальнего Востока в своём большинстве составляют граждане РФ, что характерно для нашей страны (рис. 6), хотя в других странах доля зарубежных учёных обычно гораздо выше [17]. Большинство исследователей из нашей

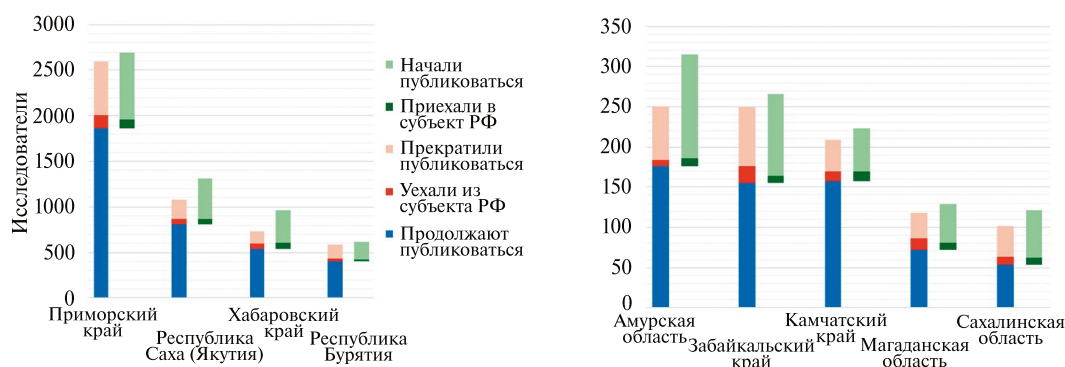


Рис. 4. Изменение кадрового обеспечения между периодами 2016–2018 и 2019–2021 гг.

Источник: расчёты авторов.

выборки никогда не работали даже за пределами одного города (таких на Дальнем Востоке 87.6%). Крайне мала доля учёных, имеющих опыт работы за рубежом — 2.6% при среднем показателе по России 6.3%; имеются в виду все их категории. Следует отметить, что исследователи с зарубежным опытом чаще приезжают в вузы Дальнего Востока, а учёные из других регионов России — в НИИ РАН. Это согласуется с результатами исследования, которое показало, что во Владивостоке 82% самых цитируемых публикаций подготовлено “домашними” авторами, тогда как, например, в Томске, где активно привлекают высокоцитируемых учёных из других городов и стран, — лишь 25% [18]. Именно поэтому, по-видимому, корпусу дальневосточных исследователей могут быть присущи характеристики, которые обычно приписывают укоренённым (инбридным) коллективам: слабая мотивация к рискованным исследованиям, конформизм, замкнутость, низкая склонность к сотрудничеству за пределами своего коллектива [19–25].

Проведённый анализ показал, что за 2019–2021 гг. 2.9% авторов приехали на Дальний Восток и 4.1% — уехали (рис. 7). В основном этот дисбаланс обеспечивает Приморский край, в котором наблюдается отток населения по всем направлениям миграции — как внутренней, так и внешней. Похожая ситуация сложилась в Забайкальском крае, в меньшей степени — в Республике Бурятия и Магаданской области. Положительный баланс удаётся поддерживать в Хабаровском крае, Амурской области и Камчатском крае.

На общероссийском уровне основным реципиентом кадровых ресурсов Дальнего Востока является Москва, куда в 2019–2021 гг. уехали 111 исследователей, а приехали в ДФО — 83. Сложился устойчивый миграционный поток между Владивостоком и Санкт-Петербургом с небольшим перевесом в сторону второго. В такие города, как Новосибирск, Иркутск, Томск уезжает почти столько же исследователей сколько приезжает из них (табл. 2). Более ориентированы на Новосибирск при выборе направления миграции жители Бурятии и Яку-

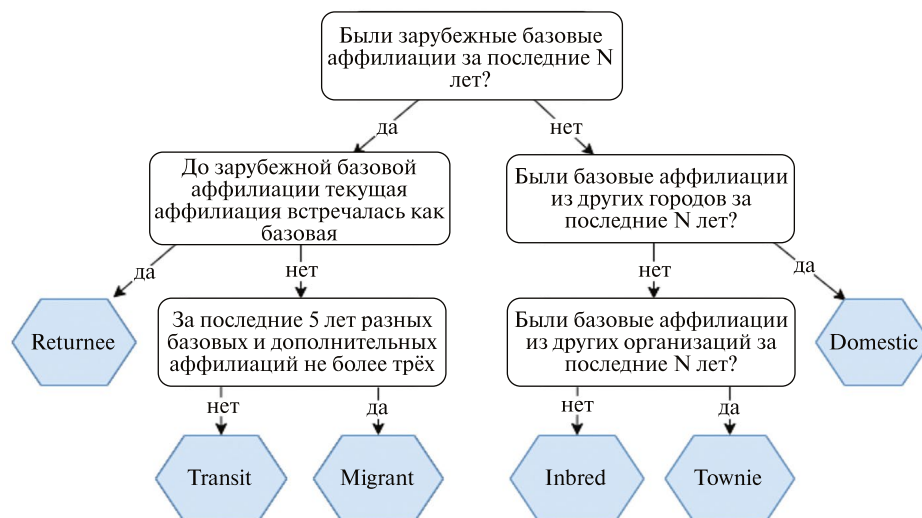


Рис. 5. Классификация миграционных статусов исследователей

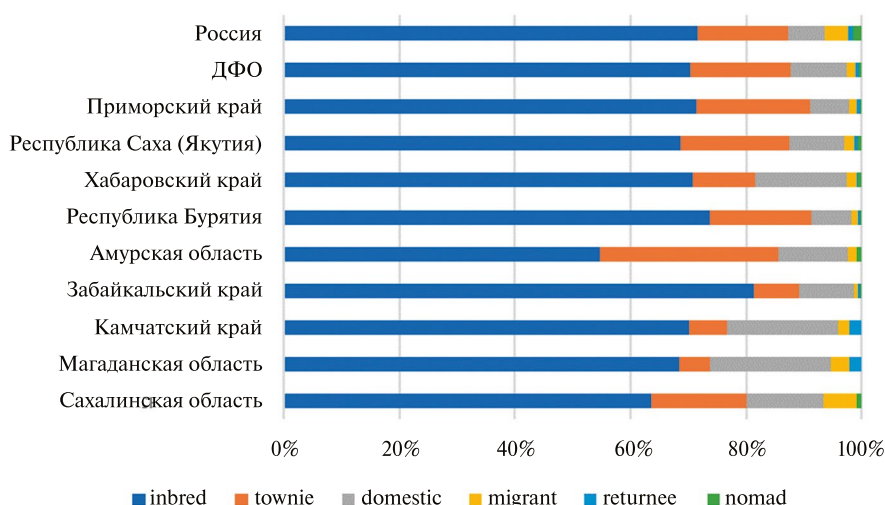


Рис. 6. Распределение авторов из ДФО по миграционному статусу в 2016–2021 гг.
 Источник: расчёты авторов.

тии (эти территории были включены в состав ДФО в 2019 г.). В немалой степени этому способствует вхождение НИИ данных регионов в Сибирское отделение РАН.

Внутренняя миграция в ДФО обеспечивается за счёт перехода учёных из одних в другие институты РАН (42 из 78 авторов). Особенно заметен взаимный обмен кадрами между Приморским и Хабаровским краями.

Из-за рубежа на Дальний Восток в 2019–2021 гг. приехали 29 человек, а уехали почти в 2 раза больше – 54 человека. Чаще всего учёные уезжают работать в страны Азиатско-Тихоокеанского региона – США, Китай, Японию, Южную Корею и др. Следует отметить, что зарубежная мобильность связана преимущественно с федеральными университетами: ДВФУ в Приморском крае (60% за-

рубежных мигрантов региона учатся или работают в университете) и СВФУ в Республике Саха (81%). Доля университетов в зарубежной миграции (в обоих направлениях) значительно выше их доли во внутривосточной миграции в соответствующих субъектах и в численности авторов, аффилированных с субъектами.

Дисциплинарная специализация. Сравнение распределения авторов из субъектов ДФО по дисциплинам с общероссийским распределением (табл. 3) показывает, что почти во всех субъектах округа доля авторов по двум доминирующим в регионе дисциплинам – науки о Земле и сельскохозяйственные науки – превышает общероссийскую в 2 и более раза. Ещё в четырёх субъектах доля авторов в области наук об окружающей среде выше общероссийской, что позволяет отнести и эту область знаний к специализации ДФО.

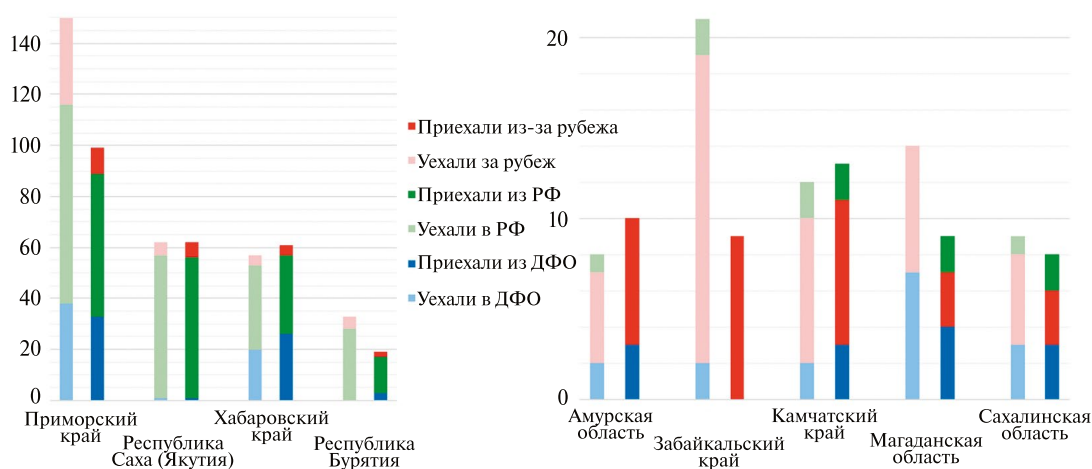


Рис. 7. Направления миграционных потоков на Дальнем Востоке в 2019–2021 гг.
 Источник: расчёты авторов.

Таблица 2. Основные направления внутрироссийской миграции в 2019–2021 гг. по городам

Город	Уехали из ДФО в город, человек	Приехали в ДФО из города, человек
Москва	111	83
Санкт-Петербург	41	28
Новосибирск	19	20
Иркутск	18	14
Томск	11	12

Однако, имея в виду эти данные, необходимо учитывать низкую долю исследователей в регионе: по этому показателю Дальний Восток — один из отстающих в РФ — 8 исследователей на 10 000 человек населения, что почти в 3 раза хуже среднероссийского показателя (ДФО опережает лишь Северо-Кавказский федеральный округ). Это означает, что

в перечисленных выше областях специализации доля учёных в ДФО близка к средней по стране, тогда как в остальных дисциплинах она значительно ниже.

Сравнение численности исследователей по областям наук и типам организаций показало, что в вузах больше авторов, специализирующихся по

Таблица 3. Научная специализация ДФО: доля авторов по областям наук, %

Научная область	РФ	ДФО	Амурская область	Республика Бурятия	Камчатский край	Хабаровский край	Приморский край	Забайкальский край	Республика Саха (Якутия)
Физика и астрономия	16	5	3	6	1	4	7	1	8
Медицина	15	8	11	4	2	11	5	32	8
Технические науки	11	7	6	7	3	14	6	5	8
Науки о Земле и планетах	10	24	31	25	71	22	21	26	29
Компьютерные науки	7	7	8	3	5	17	5	2	5
Химия	7	5	6	7	0	2	6	3	1
Биохимия, генетика и молекулярная биология	6	5	5	2	0	2	7	6	5
Материаловедение	5	4	3	5	1	5	5	1	3
Сельскохозяйственные и биологические науки	4	13	9	14	12	3	18	5	10
Социальные науки	3	2	1	2	0	3	1	4	6
Искусство и гуманитарные науки	3	4	4	9	2	3	3	3	5
Математика	3	2	2	1	0	3	2	0	2
Науки об окружающей среде	2	3	2	4	0	2	3	4	2
Доля исследователей в населении региона*, %	0.23	0.08	0.04	0.06	0.13	0.09	0.12	0.02	0.12

* Данные Росстата.

Примечание: в таблице зелёным выделены числа, характеризующие науки, по которым достигнут относительный успех, розовым, напротив, дисциплины, в которых показатели самые низкие.

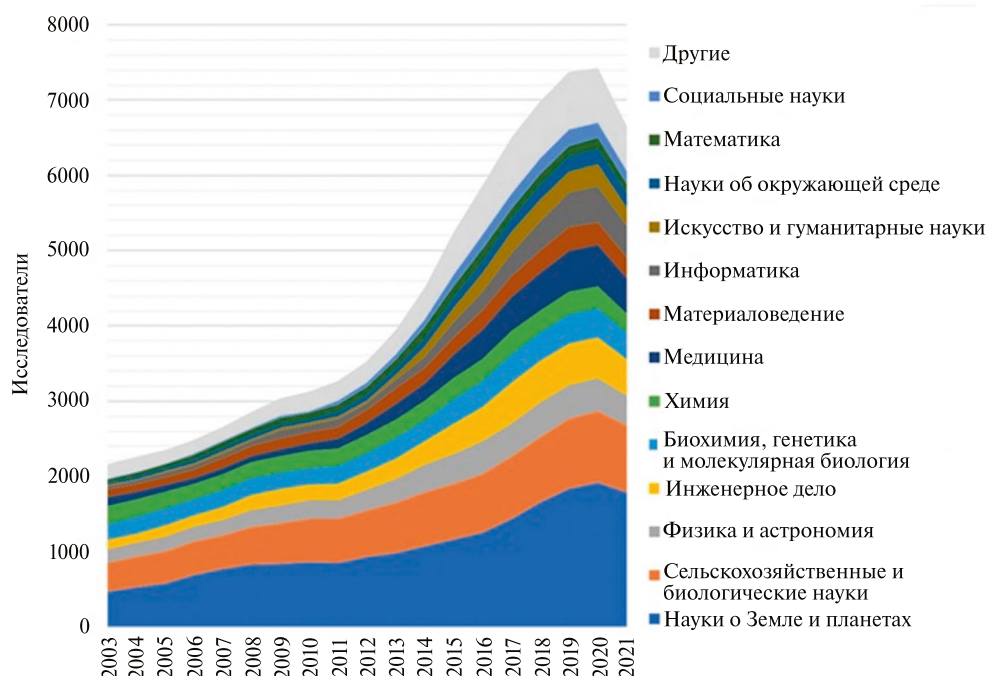


Рис. 8. Динамика численности авторов по областям наук

Источник: расчёты авторов.

техническим, медицинским и общественно-гуманитарным наукам, а в институтах РАН — по наукам о Земле и сельскохозяйственным наукам (55% всех статей авторов из НИИ РАН). В количественном и/или процентном отношении НИИ РАН несколько активнее вузов в ряде естественно-научных и биолого-медицинских дисциплин (науки об окружающей среде, химия, материаловедение, биохимия, генетика и молекулярная биология, иммунология и микробиология, фармакология, токсикология и фармацевтика). Вклад “прочих” организаций особенно заметен в науках о Земле, медицинских и сельскохозяйственных науках.

После 2011 г. изменился состав ведущих дисциплин в округе (рис. 8). В этот период в журналы Scopus пришли новые авторы из вузов, соответственно увеличился вклад направлений исследований, характерных для университетского сектора отечественной науки: компьютерные, технические, медицинские, социально-гуманитарные дисциплины. Отметим, что в 2021 г. в ДФО была отмечена повышенная доля студентов именно по этим направлениям [26]. Более чем трёхкратный рост числа авторов в медицинских и компьютерных науках и двукратный — в технических позволил этим областям к 2021 г. войти в ряд ведущих дисциплин по количеству авторов. Из дисциплин, не входящих в круг ведущих, самые впечатляющие темпы роста демонстрируют искусство и гуманитарные науки — число авторов увеличилось в 8 раз.

Однако на этом фоне на 21–28% сократилась доля авторов, специализирующихся в науках о жизни, химии и физики (сельскохозяйственные и биологические науки, химия, биохимия, генетика и молекулярная биология, физика и астрономия). Несмотря на то, что численность авторов, занятых в химических науках, оставалась стабильной на протяжении всего периода наблюдений, их доля уменьшилась на 42%, и эта дисциплина больше не входит в состав ведущих.

Доля авторов в области медицинских наук в ДФО ниже среднероссийской почти в 2 раза, что, вероятно, связано со слабыми возможностями оказания высокотехнологической медицинской помощи. Данные Росстата показывают ещё более скромное распределение: только 3% исследователей в ДФО заняты в медицинских науках.

* * *

Оценка кадрового научного обеспечения Дальнего Востока по данным Scopus показала, что наукометрические методы могут дополнять и выявлять расхождения между информацией государственной статистики и фактическими сведениями о публикуемых учёных. Несмотря на сокращение численности исследователей, которое фиксирует Росстат, количество авторов, публикующихся в журналах базы данных Scopus, увеличивается. Положительная динамика обеспечивается благодаря появлению новых авторов, преимущественно в университетском научном секторе.

Сопоставление академического, университетского и прочих секторов науки показало, что подавляющее большинство дальневосточных исследователей аффилированы с организациями, подведомственными Министерству науки и высшего образования РФ. Между университетской и академической наукой установился паритет, а коммерческий научный сектор в ДФО практически отсутствует.

Динамика научного кадрового обеспечения на Дальнем Востоке существенно различается в академическом и университетском секторах. В первом преобладают опытные исследователи, тогда как во втором после 2012 г. наблюдается значительный приток новых авторов, в том числе студентов и аспирантов. Политика стимулирования публикаций в ведущих научных изданиях привела к значительному росту числа вузовских авторов в период до 2020 г., после чего началось снижение этого показателя. Анализ публикационной активности свидетельствует, что большинство новых авторов вузы привлекают из числа молодых исследователей, однако одновременно наблюдается их заметный отток. Несмотря на это, следует отметить устойчивый прирост числа новых авторов, который компенсирует потери и способствует росту публикационной активности в регионе.

Кадровое обеспечение исследований на Дальнем Востоке России характеризуется высокой степенью укоренённости учёных (инбридинг), что приводит к низкой международной мобильности и ограниченным возможностям сотрудничества. Большинство учёных никогда не работали за пределами одного города. Исследователи с международным опытом составляют незначительную долю и преимущественно работают в университетах. В 2019–2021 гг. наблюдался отток научных кадров, особенно в Приморском крае, в то время как Хабаровский край и Амурская область показали положительный миграционный баланс. Драйвером внутренней мобильности является РАН, зарубежной — федеральные университеты.

Научная специализация Дальнего Востока России сконцентрирована в области наук о Земле и сельскохозяйственных наук. Вузы региона активно развивают технические, медицинские и общественно-гуманитарные дисциплины, тогда как НИИ РАН сосредоточены на естественно-научных направлениях, особенно науках о Земле. С 2011 г. отмечен значительный рост числа авторов в “университетских” дисциплинах, особенно в компьютерных и медицинских науках, что значительно изменило картину научной специализации региона.

Результаты данного исследования можно использовать для разработки стратегий по улучшению кадровой политики и научной инфраструктуры на Дальнем Востоке России, для стимулирования международной мобильности исследователей, увеличения финансирования и поддержки приоритетных

научных направлений. Это позволит не только усилить научный потенциал региона, но и повысить его привлекательность для молодых учёных и специалистов.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках НИОКТР “Научометрический анализ развития сектора исследований и разработок под влиянием изменений научных политик и форм организации науки” (регистрационный № 122092800020-4).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Родный А.Н., Васильева Е.В.* Научные кадры Дальнего Востока на этапе вторичной институционализации отечественной науки: в 2 ч. Ч. 1: Структурно-когнитивный компонент. Владивосток: ДВФУ, 2017. ISBN 978-574443989-7. Ч. 2: Акционистский компонент. Владивосток: ДВФУ, 2019. ISBN 978-5-7444-4484-6 // Вопросы истории естествознания и техники. 2020. № 4. С. 836.
Rodny A., Vasilieva E.V. Scientific Cadre of the Far East during the Period of Secondary Institutionalization of Russian Science: In 2 pts. Pt. 1: The Structural and Cognitive Component. Vladivostok: DVFU, 2017. ISBN 978-574443989-7; Pt. 2: The Pragmatist Component. Vladivostok: DVFU, 2019. ISBN 978-5-7444-4484-6 // Studies in the History of Science and Technology. 2020, no. 4, p. 836.
2. Атлас научно-технологического развития регионов. Дальневосточный федеральный округ / РИ-ЭПП. М.: IMG Print, 2022.
Atlas of scientific and technological development of regions. Far Eastern Federal District / RIEPL. M.: IMG Print, 2022.
3. *Красова Е.В.* Тенденции и проблемы развития кадрового потенциала научно-исследовательской инфраструктуры Дальневосточного федерального округа // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2019. № 4. С. 180–192.
Krasova E.V. Trends and problems in development of the research infrastructure personnel potential in Far Eastern Federal District // The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service. 2019, no. 4, pp. 180–192.
4. *Аргылов Н.А.* Воспроизводство кадров высшей квалификации на Дальнем Востоке: количественный анализ // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. № 7. С. 52–62.
Argylov N.A. Problems of reproduction of highly qualified personnel in the Far East: Quantitative analysis // Transbaikalian state university journal. 2022, no. 7, pp. 52–62.

5. *Шаниева А.В.* Воспроизводство научных кадров на Дальнем Востоке // Гуманитарий Юга России. 2022. № 6. С. 161–179.
Shapieva A.V. Reproduction of scientific personnel in the Far East // Humanities of the South of Russia. 2022, no. 6, pp. 161–179.
6. *Ефременко В.Ф.* Структурные факторы миграции населения Дальнего Востока России // Власть и управление на Востоке России. 2022. № 3. С. 101–107.
Efremenko V.F. Structural factors of migration of the population of the Russian Far East // Power and Administration in the East of Russia. 2022, no. 3, pp. 101–107.
7. *Королёва И.Б., Леонтьев П.В., Зигангирова Э.Р.* Научно-исследовательская активность как фактор управления инновационным развитием Дальнего Востока // Baikal Research Journal. 2023. № 3. С. 975–991.
Koroleva I.B., Leontiev P.V., Zigangirova E.R. Research Activity as a Management Factor Innovative Development of the Far East // Baikal Research Journal. 2023, no. 3, pp. 975–991.
8. *Власенко К.А.* Кадровый потенциал Российской Федерации в сфере научных исследований и разработок // Прикладные экономические исследования. 2023. № 1. С. 56–60.
Vlasenko K.A. Personnel potential of the Russian Federation in the field of scientific research and development // The Applied Economic Researches Journal. 2023, no. 1, pp. 56–60.
9. *Гуськов А.Е., Селиванова И.В., Косяков Д.В.* Миграция российских исследователей: анализ на основе наукометрического подхода // Библиосфера. 2021. № 1. С. 3–15.
Guskov A.E., Selivanova I.V., Kosyakov D.V. Migration of Russian researchers: Analysis based on the scientometric approach // Bibliosphere. 2021, no. 1, pp. 3–15.
10. *Судакова А.Е., Тарасьев А.А., Кокшаров В.А.* Миграционные тренды российских учёных: региональный аспект // Terra Economicus. 2021. № 2. С. 91–104.
Sudakova A.E., Tarasyev A.A., Koksharov V.A. Trends in the migration of Russian scholars: The regional dimension // Terra Economicus. 2021, no. 2, pp. 91–104.
11. *Kosyakov D., Guskov A.* Impact of national science policy on academic migration and research productivity in Russia // Procedia Computer Science. 2019, vol. 146, pp. 60–71.
12. *Емельянова Е.Е., Лапочкина В.В.* Научные кадры России: тенденции, проблемы, перспективы // ECO. 2022. № 4. С. 31–56.
Emelyanova E.E., Lapochkina V.V. Scientific Personnel of Russia: Trends, Problems, Prospects // ECO. 2022, no. 4, pp. 31–56.
13. *Guskov A.E., Kosyakov D.V., Selivanova I.V.* Boosting research productivity in top Russian universities: the circumstances of breakthrough // Scientometrics. 2018, vol. 117, no. 2, pp. 1053–1080.
14. *Мотрич Е.Л.* Современные демографические процессы на Дальнем Востоке России // Власть и управление на Востоке России. 2022. № 4. С. 59–68.
Motrich E.L. Modern demographic processes in the Russian Far East // Power and Administration in the East of Russia. 2022, no. 4, pp. 59–68.
15. *Мишук С.Н.* Трудовая миграция на Дальнем Востоке России: до и после 2020 года // Региональные проблемы. 2021. № 2–3. С. 171–174.
Mishchuk S.N. Labor migration in the Far East of Russia: before and after 2020 // Regional problems. 2021, no. 2–3, pp. 171–174.
16. *Друзьяка А.В.* Система регулирования внешней миграции на Дальнем Востоке Российской Федерации (1991–2020 гг.) // Демис. Демографические исследования. 2021. № 3. С. 114–129.
Druzyaka A.V. The System of regulation of external migration in the Far East of the Russian Federation (1991–2020) // DEMIS. Demographic research. 2021, no. 3, pp. 114–129.
17. *Macháček V. et al.* Researchers' institutional mobility: bibliometric evidence on academic inbreeding and internationalization // Science and Public Policy. 2022, vol. 49, no. 1, pp. 85–97.
18. *Донецкая С.С.* Оценка регионов России по показателям подготовки научных кадров // Университетское управление: практика и анализ. 2017. № 3. С. 66–73.
Donetskaya S.S. Estimation of the russian regions on the formal indicators of scientific personnel training // University Management: Practice and Analysis. 2017, no. 3, pp. 66–73.
19. *Устиненко М.А.* Академический инбридинг в российских вузах // Учёные заметки ТОГУ. 2024. № 1. С. 174–178.
Ustinenko M.A. Academic inbriding in russian universities // Scientific notes of TOGU. 2024, no. 1, pp. 174–178.
20. *Karadağ E., Ciftci S.K.* Deepening the Effects of the Academic Inbreeding: Its Impact on Individual and Institutional Research Productivity // Research in Higher Education. 2022, vol. 63, pp. 1015–1036. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11162-021-09670-8>
21. *Horta H.* Deepening our understanding of academic inbreeding effects on research information exchange and scientific output: new insights for academic based research // Higher Educ. 2013, vol. 65, no. 4, pp. 487–510.

22. *Inanc O., Tuncer O.* The effect of academic inbreeding on scientific effectiveness // *Scientometrics*. 2011, vol. 88, no. 3, pp. 885–898.
23. *Horta H., Veloso F.M., Grediaga R.* Navel Gazing: Academic Inbreeding and Scientific Productivity // *Management Science*. 2010, vol. 56, no. 3, pp. 414–429.
24. *Eisenberg T., Wells M.* Inbreeding in Law School Hiring: Assessing the Performance of Faculty Hired from Within // *Cornell Law Faculty Publications*. 2000. Paper 375. <https://scholarship.law.cornell.edu/facpub/375>
25. *Soler M.* How inbreeding affects productivity in Europe // *Nature*. Nature Publishing Group. 2001, vol. 411, no. 6834, pp. 132–132.
26. *Томских А.* Образование, кадры и инновационное развитие ДФО: проблемный вопрос // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2022. № 5. С. 110–119.
Tomskikh A. Education, personnel and innovative development of the Far Eastern federal district: a problematic issue // *Transbaikalian state university journal*. 2022, no. 5, pp. 110–119.
27. *Индикаторы науки: 2024: статистический сборник / Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, М.Н. Котцемир и др. М.: НИУ ВШЭ, 2024.*
Science indicators: 2024: data book / L.M. Gokhberg, K.A. Ditkovsky, M.N. Kotsemir et al. M.: NRU HSE, 2024.

SCIENCE STAFFING IN THE FAR EAST

A.E. Guskov^{a,*}, D.V. Kosyakov^{a,}, O.D. Khalyavin^{a,***}, I.G. Lakizo^{a,****}**

^a*Russian Institute of Economics, Politics and Law in Science and Technology, Moscow, Russia*

^{*}*E-mail: guskov.andrey@gmail.com*

^{**}*E-mail: kosyakov@sciencepulse.ru*

^{***}*E-mail: olegkhalyvin@gmail.com*

^{****}*E-mail: 1440@list.ru*

The personnel shortage has historically been considered as one of the main obstacles to the development of Far Eastern science. The purpose of the study is to assess the personnel provision of science in the Far East. According to Scopus data for 2000–2021, 12,448 authors from this region were identified and indicators characterizing the dynamics of personnel, academic mobility, academic, university and other sectors of science, disciplinary specialization were calculated for them. Discrepancies were revealed between the data of state statistics and published researchers, which may indicate an incomplete realization of the personnel potential. It was shown that 87.6% of Far Eastern scientists did not work outside their city and only 2.6% have experience working abroad, and that migration negatively affects the personnel dynamics of the scientific sphere of the region.

The personnel of universities and research institutes of the Russian Academy of Sciences differs in experience and qualifications. The research institutes of the Russian Academy of Sciences have a higher proportion of experienced employees who publish more often in journals indexed in the Scopus database. At the same time, universities actively train new authors, thereby compensating for the attrition of Far Eastern authors. The average turnover of research personnel in 2016–2021 can be estimated at 28.9%. The scientific specialization of the Far East differs significantly from the all-Russian one in favor of earth sciences, environmental sciences, agriculture, and biology.

The information on the staffing of Far Eastern science provided by state statistics has been supplemented and expanded.

Keywords: Far East, scientific potential, staffing, personnel potential, academic mobility, scientometric analysis, Scopus.

ВЫЗОВЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

© 2025 г. В.П. Ильин^{a,b,*}

^aИнститут вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

^bНовосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

*E-mail: ilin@sccc.ru

Поступила в редакцию 16.10.2024 г.

После доработки 21.01.2025 г.

Принята к публикации 14.02.2025 г.

В статье рассмотрены вызовы и проблемы машинного обучения, возникающие в суперкомпьютерном математическом моделировании процессов и явлений реального мира. В настоящее время такое моделирование стало основным инструментом получения фундаментальных и прикладных знаний, а также условием заметного повышения производительности труда и внутреннего валового продукта. Описаны принципы современного предсказательного моделирования на основе высокопроизводительных вычислений, искусственного интеллекта и обработки больших объёмов данных. Проанализированы тенденции развития наукоёмкого математического и программного обеспечения в рамках интегрированных вычислительных окружений; последние предполагают гибкое расширение состава изучаемых моделей и применяемых алгоритмов, эффективное использование внешних продуктов, адаптацию к эволюции компьютерных платформ, ориентированных на длительный жизненный цикл. Изложена методология машинного обучения на основе технологического цикла, который включает формирование и модификацию моделей, реализацию вычислительного эксперимента с решением прямых и обратных задач, анализ результатов и принятие решений по оптимизации видов деятельности для достижения поставленных целей.

Ключевые слова: машинное обучение, математическое моделирование, высокопроизводительные вычисления, искусственный интеллект, большие данные, наукоёмкое программное обеспечение, интегрированные вычислительные окружения.

DOI: 10.31857/S0869587325030021, EDN: STOINN

Задачи опережающего научно-технологического развития в приоритетных областях в наступившую эпоху эксафлопсных суперкомпьютеров неизбежно должны опираться на массовую цифровизацию всех сфер жизнедеятельности человеческого общества при условии активного использования искус-

ственного интеллекта, огромных объёмов данных, нейросетей и методологий машинного обучения. Особая роль принадлежит средствам получения новых фундаментальных и прикладных знаний, базирующимся на наукоёмком математическом моделировании сложнейших процессов и явлений. Эти исследования, как правило, включают решение междисциплинарных прямых и обратных задач и обуславливают вовлечение экстремальных объёмов вычислительных ресурсов с масштабируемым распараллеливанием алгоритмов на многопроцессорных вычислительных системах (МВС). Принципиально, что в условиях непрерывно развивающихся наук проблемы моделирования неизбежно связаны с динамичными разработками, сопровождением и внедрением математического и программного обеспечения (МПО), высокая стоимость которого требует экономичного отношения к профессиональной его эксплуатации. С другой



ИЛЬИН Валерий Павлович — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории вычислительной физики ИВМиМГ СО РАН.

стороны, пользователи МПО должны владеть суперкомпьютерными технологиями получения знаний и принимать решения на основе их анализа.

Важный элемент такого подхода — построение цифровых двойников, или виртуальных реальностей, изучение и оптимизация характеристик которых позволяют повышать эффективность труда; фактически речь идёт о новой производительной силе, которая обеспечивает рост валового внутреннего продукта. Не менее значимо проникновение интеллектуальных вычислительно-информационных новаций в социальную и гуманитарную сферы, не говоря уже о национальной безопасности. Образно говоря, компьютерные науки и инструментарий играют роль кровеносной системы, обеспечивающей жизнедеятельность человеческого сообщества как единого организма. Такая ситуация требует по-новому взглянуть на взаимосвязь высокопроизводительных вычислений с искусственным интеллектом и преобразованиями больших данных — взаимосвязь трёх китов 4-й индустриальной революции.

По всем этим направлениям за последние десятилетия достигнуты выдающиеся успехи, требующие философско-методологического осмысления, имея в виду гармоничное развитие совокупности наук о получении знаний [1–7]. Надо иметь в виду, что, например, появившиеся возможности достижения положительных практических результатов на основе когнитивного анализа больших данных с помощью их простой статистической обработки иногда имеют своим следствием вывод о возникновении некоей “постнауки”, вроде Data Science, которая якобы не требует традиционных глубоких исследований. Чтобы не ввести в заблуждение подобными сомнительными утверждениями, необходимо показать, что для создания искусственного интеллекта и нейросетей необходимо вложить огромный труд профессионалов с высоким уровнем естественного интеллекта. За последние десятилетия наукоёмкое математическое моделирование сформировалось в многоликий творческий процесс, а бурные успехи в области искусственного интеллекта активно влияют на технологические стадии машинного эксперимента, что сулит значительные синергические эффекты.

Настоящая работа посвящена системному анализу указанной проблематики с точки зрения математика, программиста и пользователя-специалиста в конкретной прикладной области. Будут рассмотрены: основные характеристики и тенденции математического моделирования как научной дисциплины и как технологии решения практических задач; функциональные и системные наполнение программного обеспечения; методологические принципы основанного на вычислительном эксперименте машинного обучения.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: СУПЕРВЫЧИСЛЕНИЯ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ, БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ

Философское изречение “бытие определяет сознание” имеет прямое отношение к нашей теме в том смысле, что достижимый уровень искусственного интеллекта определяется мощностью ресурсов ЭВМ, включая быстродействие и объём памяти. Речь пойдёт только о традиционных архитектурах кластерного типа, включая вычислительные узлы с распределённой памятью и многоядерными процессорами (CPU с несколькими десятками ядер над общей памятью и, возможно, графическими ускорителями GPGPU).

Хотя и в нашей стране, и за рубежом активно ведутся разработки новых поколений компьютеров, в том числе квантовых и реконфигурируемых, в ближайшие 5–10 лет они, по-видимому, ещё не станут массовыми и конкурентоспособными. А значит, в течение указанного времени можно рассматривать конфигурации с суммарным быстродействием около петафлопса и оперативной памятью в несколько десятков или сотен терабайт. История эволюции ЭВМ показывает, что параметры их быстродействия и объёмов памяти растут примерно пропорционально. При этом достаточно “большими задачами” (в терминологии Н.Н. Яненко [8, 9], то есть теми, которые решают достаточно долго — в течение часов или десятков часов, суток или нескольких суток) сейчас можно считать такие, постановка которых предполагает решение междисциплинарных многомерных прямых и обратных задач с числом неизвестных функций около десятка и которые требуют применения неструктурированных адаптивных сеток с числом пространственных узлов порядка 1000^3 , а также выполнения шагов по времени до 10^3 – 10^5 и более. Для таких расчётных параметров вычислительный процесс даже на суперкомпьютере — это крупномасштабный эксперимент с экстремальными объёмами данных и арифметических действий.

Согласно сложившейся методологии математического моделирования [8–13] её технологическая цепочка, при всём многообразии, включает относительно небольшое количество стадий, качественное содержание которых, однако, существенно меняется с развитием суперкомпьютерных поколений, вычислительных алгоритмов и инструментов. Мы будем рассматривать некую универсальную ЭВМ, или сеть машин, с программным обеспечением, интегрированным в том смысле, что оно позволяет решать самый широкий круг задач.

Изучение любого объекта начинается с формирования его модели, которая может быть представлена совокупностью дифференциальных и/или интегральных, а также дискретных уравнений и соотношений, с дополнительными ограни-

чениями и условиями на оптимизацию, с большими объёмами реально измеряемых данных. Последние могут быть приближёнными и даже противоречивыми, никак не подпадающими под строгие математические понятия существования, единственности и корректности решения. Такие сложные системы приходится анализировать гидрометеорологическим службам при прогнозировании погоды, изменений климата или предупреждении природных катастроф, при использовании данных всемирной сети наземных и космических наблюдений. Другая иллюстрация — многофазные процессы в нефтегазовой отрасли с применением химических, электрофизических и других современных технологий добычи. Одна из экстремальных проблем — последствия термоядерного взрыва, где происходит наложение процессов гидрогазодинамики, физики твёрдого тела, плазмы и т.д.

Естественно, что стратегия и тактика моделирования должны обеспечивать максимум эффекта при минимизации вычислительных ресурсов, отнюдь не дешёвых. Все науки быстро развиваются, а с ними растут, количественно и качественно, всевозможные модели, возникают их иерархии — от простых и экономичных до более сложных и точных. Взаимодействие человека с ЭВМ требует комфортных интерфейсов со входными языками, определяющими уровень общения с пользователями самых разных специальностей. Данная стадия предназначена для формулирования задания для ЭВМ той модели (или их последовательностей из возможного набора), которая необходима в соответствии с поставленной задачей. Очевидно, что такой уровень функциональности программной подсистемы и её пользователя может быть достигнут только в результате машинного обучения путём накопления опыта эксплуатации и анализа получаемых результатов. Отметим, что “умные” реализации данной стадии могут включать качественный анализ математических свойств моделей, что, несомненно, повышает ценность такого продукта.

После конкретизации математической задачи на непрерывном уровне требуется её дискретизация, то есть построение сетки. Данный этап весьма важен с точки зрения эффективности моделирования и представляет собой трудоёмкую алгоритмическую проблему в многомерных задачах с реальными данными, включающими сложные геометрические конфигурации расчётных областей с кусочно-гладкими неодносвязанными разномасштабными границами (в том числе движущимися) и контрастными материальными свойствами сред. В подобных случаях зачастую приходится учитывать сингулярности решений и строить адаптивные неструктурированные сетки, вопрос об оптимизации которых пока остаётся открытым.

Необходимо отметить, что наиболее эффективные численные методы решения больших задач

связаны с декомпозицией областей, являющейся основным орудием распараллеливания алгоритмов, а также с применением многосеточных подходов, обеспечивающих асимптотическую оптимальность по порядку решений (при характерных шагах сетки $h \rightarrow 0$ общее число арифметических действий пропорционально числу неизвестных [14]). Это ставит перед “сеточными генераторами” новые интересные задачи, связанные с построением сложных структур данных и с интеллектуальными операциями на графах [15].

Существует достаточно много подходов к построению сеточных аппроксимаций различного порядка точности: методы конечных разностей, конечных объёмов, конечных элементов, разрывных алгоритмов Галёркина и т.д. Создание многофункционального программного обеспечения с этой целью для различных типов сеток и видов операторов — актуальная и востребованная задача (проект соответствующей подсистемы CHEBYSHEV описан в [16]). Отметим, что, хотя проблема автоматизации построения алгоритмов для сеточных аппроксимаций достаточно стара [17], широкого распространения этот подход пока не получил.

Большинство практических задач — нелинейные и нестационарные, но после применения к ним квазилинеаризации и неявных по времени аппроксимаций неизбежно приходится решать системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), как правило, с большими разреженными матрицами, симметричными и несимметричными. Основной подход здесь — итерационные предобусловленные методы в пространствах Крылова [18] (соответствующая подсистема называется библиотекой KRYLOV).

Ключевую роль в машинном обучении играют оптимизационные методы решения обратных задач, поскольку именно на их основе можно отыскать и исследовать наилучшие сценарии процессов и явлений [19]. Типичная методология состоит в планировании серии вычислительных экспериментов, в которых на основе предыдущего опыта описывается минимизируемый целевой функционал, а после анализа полученных результатов формируется следующий сеанс машинного обучения. Такое взаимодействие человека и ЭВМ представляется безальтернативным во многих многокритериальных практических поисковых задачах, когда детерминированный алгоритм их решения формализовать в принципе невозможно. Отметим важный момент: варьируемые при этом параметры могут относиться не только к изучаемой модели, но и к самому вычислительному процессу, поскольку в патовых ситуациях он может или совсем не сходиться, или длиться неприемлемо долго.

Таким образом, в итерационный цикл вовлекаются все рассмотренные стадии моделирования. К ним следует добавить методы и технологии

постобработки, визуализации и анализа расчётных результатов, на основе которых функционируют средства принятия решений [20].

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАК ЭКОСИСТЕМА

Прикладное программное обеспечение, как и системное, уже более полувека бурно развивается одновременно с вычислительной техникой, для которой всем на удивление до сих пор почти выполняется закон Мура (увеличение быстродействия в 1000 раз за 11 лет). Однако надо признать, что за последние десятилетия темпы роста производительности труда программиста стали существенно отставать от темпов производительности компьютеров, то есть в определённом смысле можно говорить о кризисе программирования. Чтобы исправить этот перекос, начинает активно использоваться искусственный интеллект.

К настоящему времени в мире накоплено огромное количество общедоступного (Open Source) и коммерческого “софта” в виде библиотек, специальных инструментов и проблемно-ориентированных пакетов прикладных программ (ППП) [10], которые представляют высокую интеллектуальную ценность. Здесь можно назвать такие высокопрофессиональные разработки, как библиотеки PETSc, HYPRE, PARDISO, пакеты программ FENIX, DEAL II, специализированные системы PARVIEW, MAPLE и многие другие. Отдельный мировой рынок составляют системы автоматизаций проектирования (САПР) [21], причём в последние годы наметилась конвергенция этих систем с классическими ППП. В то же время наметился переход от специализированных к интегрированным программным окружениям. Примерами крупных проектов в данной области являются DUNE, OPEN FOAM, INMOST, а также Базовая система моделирования (БСМ) [12, 22–24]; все они в первую очередь методоориентированные.

Функциональное наполнение БСМ — это набор автономных подсистем, каждая из которых отвечает за соответствующую технологическую стадию моделирования и связана с другими посредством согласованных структур данных. Благодаря подсистеме формирования моделей создаются функциональная и геометрическая структуры данных (ФСД и ГСД) — исходные для этапа генерации сетки. На основе получаемой сеточной структуры данных (ССД) в результате выполнения этапа аппроксимации строятся алгебраические информационные массивы в общепринятых мировых форматах (АСД), обеспечивающих высокопроизводительное решение широкого класса систем линейных алгебраических уравнений.

Такая архитектура позволяет независимым группам профессиональных разработчиков реализовывать и развивать различные подсистемы. При этом

легко достигается гибкая расширяемость состава модулей и алгоритмов для каждого вычислительного этапа, в том числе с эффективным переиспользованием внешних программных продуктов и с адаптацией на новых компьютерных платформах. Итоговое интегрированное вычислительное окружение (ИВО) представляет собой самоподдерживающуюся экосистему с длительным жизненным циклом, ориентированную на успешную эксплуатацию широким кругом пользователей. Предусмотренный переизбыточный набор моделей и алгоритмов призван поддерживать методологии машинного обучения как самой экосистемы, так и её пользователей.

Обеспечение богатой функциональности и эффективного использования интегрированного вычислительного окружения требует создания разнообразного системного наполнения. С математической точки зрения это означает в первую очередь разработку средств автоматизации построения алгоритмов, включая инструменты многоверсионных конфигураций вычислительных модулей. Что касается языков программирования, отметим популярность сочетания стилей объектно-ориентированных подходов C++ и богатых изобразительных возможностей языка интерпретирующего типа Python, который включает такие важные интеллектуальные компоненты, как компьютеризация сложных аналитических выкладок. Это открывает путь к активному использованию аппроксимационных методов повышенной точности, которые перспективны в теоретическом плане в силу значительного сокращения требуемой памяти и энергозатратных коммуникационных расходов, но имеют пока недостаточно широкое распространение из-за трудоёмкого программирования.

В мире также ведутся разработки специализированных естественных языков для математиков-вычислителей (существует даже лозунг “программирование без программирования”). Хотя в публикациях в Интернете упоминаются такие заманчивые проекты по “фабрикам языков”, как SIDL (Scientific Interface Definition Language) и DSL (Domain Specific Languages) [25], где насущная проблема трактуется как переход от “палеоинформатики к неоинформатике”, в ближайшее время прорывные перспективы здесь не просматриваются, технологии формирования алгоритмических библиотек остаются неизменными уже несколько десятилетий. В целом языковой контент является одним из ключевых для уровня машинного обучения, а текущую ситуацию можно оценить как мягкий выход из кризиса программирования.

Несомненно, одно из главных качеств прикладной программы — её производительность, определяемая в первую очередь качеством распараллеливания алгоритмов. Здесь огромные возможности предоставляют ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы), которые позволяют

спроектировать и собрать специализированный компьютер максимального быстродействия для заданного алгоритма. Однако у таких компьютеров есть один недостаток — коммерческая неконкурентоспособность в сравнении с типовыми суперкомпьютерами кластерного типа, вычислительные узлы которых соединены шинами и обмениваются между собой данными с помощью очень простой библиотеки MPI, а расчёты на каждом из них осуществляют многоядерные процессоры с иерархической общей памятью (её различные уровни имеют разные объёмы и скорости обменов) под управлением программной системы типа OpenMP. Существуют и быстрые графические ускорители (GPGPU), но их связь с общей памятью медленная, что существенно снижает их эффективность.

Ситуацию с распараллеливанием вычислений можно считать парадоксальной ввиду отсутствия соответствующей массовой, или штатной, системы автоматизации программирования, за исключением нескольких малораспространённых языков или подсистем (например, SHAPL и DVM — Distributed Virtual Machine [26]). Фактически распараллеливание алгоритмов на многопроцессорных вычислительных системах — это сугубо ручная работа с экспериментально подбираемыми способами ускорения вычислений, которые измеряются двумя простыми параметрами:

$$S_p = T_1 / T_p, E_p = S_p / p$$

— коэффициентами ускорения и эффективности, где T_p есть время решения задачи на p процессорах. В качестве перспективных можно назвать исследования по оптимизации распараллеливания на основе концепции D-детерминанта [27]. С точки зрения машинного обучения можно сформулировать проблему о поиске самим суперкомпьютером наилучшего способа распараллеливания на основе серии расчётов для конкретного класса задач.

Очень важное значение для повышения производительности труда программиста имеет скорость прохождения таких неизбежных рутинных процедур, как отладка, тестирование, верификация и валидация реализуемого кода. Возникающие здесь проблемы неизбежно усугубляются при создании больших программных комплексов, которые как раз и подразумеваются в концепции интегрированного вычислительного окружения; это обусловлено в первую очередь драматическим усложнением информационных связей, а также внутренних межмодульных и пользовательских интерфейсов. В больших профессиональных командах разработчиков операционных систем и компиляторов эти проблемы давно решены с помощью известных компонентных технологий COM/DCOM и CCA (Common Component Architecture) [28], но в прикладном программировании они пока находятся в ожидании перехода на индустриальное мышление.

Один из главных компонентов ИВО — репозиторий (хранилище), обеспечивающий целостность разработки и её связи с внешним миром, поддерживающий свойства многоязыковости и кроссплатформенности, а также взаимодействия с разработчиками и пользователями. Широкое распространение в компьютерном сообществе получила система такого типа GITHUB с большим разнообразием сервисов.

О НЕКОТОРЫХ ПРИНЦИПАХ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Всякое обучение заключается в приобретении знаний и навыков для какой-то сферы деятельности, в том числе для принятия решений на основе анализа содержательной информации. В отношении математического моделирования мы можем выделить три категории участников: неодушевлённый объект — компьютер, состоящий из технического оборудования и программного обеспечения, и два типа субъектов — разработчики инструментов моделирования и конечные пользователи — специалисты в конкретных предметных областях, осуществляющие суперкомпьютерные инновации. Понятно, что персонал может быть представлен людьми разной квалификации, между которыми возникают отношения учитель—ученик.

Знания являются активными, если они приводят к каким-то действиям и результатам [29]. Их накопление и систематизация для определённой предметной области предполагают разработку соответствующей базы активных знаний (БАЗ), содержащей всевозможную информацию об объектах, их спецификациях, взаимосвязях и о возможных действиях над ними. С расширением и углублением добываемой информации появление БАЗ неизбежно, поскольку объём информации становится непосильным для усвоения человеком. Структура БАЗ окончательно ещё не сложилась, пример проекта такой разработки для задач вычислительной алгебры приведён в работе [30]. Прототипом такой разработки можно считать систему ALGOWIKI [31], созданную под руководством Дж. Донгарры и В.В. Воеводина.

Базы знаний должны содержать всю необходимую информацию по соответствующей теме. Если мы говорим о математическом моделировании для определённого класса проблем, то сюда входят описания моделей, вычислительных методов и технологий, примеры задач и результаты их решения (для чего должны создаваться специальные архивы), рекомендации по всевозможным применениям, а также литературные источники и доступные программные материалы с документацией. Другими словами, должна быть разработана онтология, позволяющая проводить разбор текстов, статистический анализ данных и другие интеллектуальные действия. База знаний предполагает систему сбора и усвоения огромных объёмов информации, например косми-

ческой, метеорологической и т.д., которую необходимо интегрировать с оперативными расчётами.

Наиболее содержательными здесь являются проблемы, связанные с оптимизационными методами решения обратных задач, позволяющие достичь наибольшего практического эффекта, например, при идентификации параметров модели по результатам натурных измерений (иллюстрация – нефтегазовое месторождение) или оптимизации эксплуатационных режимов технической установки (самолёт, корабль, заводской цех и т.п.) [19]. При этом постановка проблемы формулируется как поиск минимума некоторого целевого функционала

$$\Phi_0(\vec{u}(\vec{x}, t, \vec{p}_{opt})) = \min_{\vec{p}} \Phi_0(\vec{u}(\vec{x}, t, \vec{p}))$$

для решения какой-то прямой начально-краевой задачи, который подчиняется дополнительным линейным и/или нелинейным ограничениями:

$$\begin{aligned} p_k^{min} &\leq p_k \leq p_k^{max}, k = 1, \dots, m_1, \\ \Phi_l(\vec{u}(\vec{x}, t, \vec{p})) &\leq \delta_l, l = 1, \dots, m_2, \\ \vec{p} &= \{p_k\} \in \mathcal{R}^m, m = m_1 + m_2. \end{aligned}$$

Здесь $\vec{p}$ – m -мерный вектор оптимизируемых параметров, а $t, \vec{x}$ – временная и пространственная координаты. Исходную прямую задачу, или уравнение состояния оптимизируемой сложной системы, формально можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} L\vec{u} &= \vec{f}(\vec{x}, t), \vec{x} \in \bar{\Omega} = \Omega \cup \Gamma, 0 < t \leq T < \infty \\ l\vec{u} &= \vec{g}(\vec{x}, t), \vec{x} \in \Gamma, \vec{u}(\vec{x}, 0) = \vec{u}^0(\vec{x}), \\ \bar{\Omega} &= \Omega \cup \bar{\Omega}_j, \Gamma = \Gamma^e \cup \Gamma^i, \\ \Gamma^i &= \cup \Gamma_{j,k}^i = \cup (\bar{\Omega}_j \cap \bar{\Omega}_k), \end{aligned}$$

где L есть в общем случае матричного типа оператор (в дифференциальной и/или интегральной форме), l – оператор граничных условий, а $\bar{\Omega} \times [0, T]$ – расчётная область, которая зачастую состоит из подобластей $\bar{\Omega}_k$ с различными контрастными материальными свойствами, а также с внутренними и внешними границами Γ^e, Γ^i , в том числе имеющими разномасштабные детали и кусочно-гладкие многосвязные поверхностные сегменты. В общем случае речь идёт о междисциплинарных неклассических формулировках, когда даже вопросы существования, единственности и корректности остаются открытыми. Что касается проблемы условной минимизации функционала, то она может быть локального типа или глобального. В последнем случае требуется найти все имеющиеся минимумы.

Приведу следующий характерный пример машинного обучения. Пусть нам требуется в течение длительного времени (год или более) проводить оперативное оптимальное управление некоторой сложной системой, зависящей от 10 параметров, путём решения обратных и прямых задач, причём каждая из них требует длительных расчётов (часы или десятки часов). Отметим, что если по каждому параметру перебирать 10 его возможных значений, то общее количество вариантов составит 10^{10} (проклятие размерности)! В этом случае машинное обучение компьютера можно осуществить следующим образом. Сначала в течение нескольких, скажем, недель с помощью классических методов оптимизации решают сотни задач, результаты которых запоминают и как-то статистически обрабатывают (например, с помощью популярного вида обобщённой линейной регрессии – кригинга), формируя соответствующие аппроксимации в сеточном пространстве параметров. Затем на основе накопленных данных начинается оперативная работа машинно-программного комплекса, который быстро находит приближение к искомому состоянию системы, а далее с участием человека последовательно происходит необходимое уточнение параметров.

В работах по искусственному интеллекту сложилось понятие “базовые модели” (Foundation Models, или LxM – Large x Model), определяемые как средства глубокого обучения путём “тренинга” на огромном количестве тестовых примеров и задач [32] и обширной литературе, главным образом ещё неопубликованной, размещаемой на общедоступных интернет-ресурсах arXiv. Кроме того, в обиход вошёл термин “суррогатная оптимизация”, который подразумевает, что поиск наилучшего решения производится не для реального объекта или процесса, а для его модели, возможно, грубой. В целом решение сложных обратных задач с многообразным поведением минимизируемых функционалов требует применения иерархии моделей, выбор которых требует высокого искусства. Фактически в таких случаях работают метаалгоритмы взаимодействия компьютера с пользователем, имеющим большой опыт решения конкретного класса задач.

Развитие машинного обучения в вычислительной математике связано в первую очередь с выбором оптимального или “хорошего” алгоритма для каждой стадии технологической цепочки моделирования: генерация сетки, аппроксимация и дискретизация исходной задачи, решение получаемых систем линейных и нелинейных уравнений и т.д. В результате поиск наилучшего общего вычислительного процесса сводится к разноуровневым повторяющимся циклам с многократными численными экспериментами, анализом промежуточных результатов и выработкой итоговой стратегии практических расчётов. Зачастую здесь необходимо идти на компромисс типа “лучшее – враг хорошего”, поскольку сама по себе оптимизация может

оказаться дороже, чем уже известный достаточно эффективный подход. Проникновение машинного обучения в вычислительную математику происходит достаточно активно, и здесь можно отметить работы по методам конечных элементов и по итерационным алгоритмам [33, 34] и цитируемую в них литературу. Относительно решения различных прикладных задач сложилась специальная нейрометодология PINN (Physics Informed Neural Networks), ориентированная на решение дифференциальных уравнений, описывающих законы сохранения, в том числе на непрерывном уровне, без перехода к сеточным дискретизациям [35].

Нейросетевые подходы очень быстро эволюционируют. В 2017 г. в работе [36] была предложена архитектура нейросети под названием трансформер, базирующаяся на механизме внимания. Её суть в определении глобальных зависимостей между входными и выходными данными путём предварительного обучения на примерах. Построенные на этих принципах программные реализации уже значительно усилили инструментарий для обработки изображений, анализа текстов, машинного перевода и др. В качестве убедительного примера эффективного использования машинного обучения для решения действительно очень сложной физико-математической проблемы рассмотрим задачу определения межатомных потенциалов, которые аппроксимируют модели квантово-механических взаимодействий, описываемых изначально экстремально ресурсоёмкой теорией Кана–Шема. Достаточно общий подход к решению данной задачи основан на нейросетевых потенциалах, современная версия которых представлена с помощью eMTP — потенциала тензора электронного момента, лежащего в основе класса машинно-обучаемых моделей межатомных взаимодействий с требуемой высокой точностью [37].

Другое направление исследований — это нейрооператоры (NO) [38], являющиеся развитием “физически-информированных” нейронных сетей типа PINN. В отличие от последних, NO ориентированы на аппроксимации обратных операторов, характеризующих связи между функциональными пространствами, что позволяет переходить на решение целых классов задач. Следует заметить, что новые нейросетевые и нейрооператорные технологии — это в определённом смысле хорошо забытые старые подходы классических методов математической физики середины прошлого века, которые основаны на непрерывных базисных функциях, эффективно применяемых для небольших порядков, но резко усложняющихся в случае повышения точности расчётов.

Аналогичные методологии применимы и в других науках (химия, биология и т.д.) или на производствах: модель, компьютерный эксперимент, анализ результатов, новые знания, принятие решений. Однако это не самоцель, далее должны следовать

какие-то решения по оптимизации человеческой деятельности и инновациям — повышению производительности труда, количеству и качеству выпускаемой продукции, достижению социального и/или гуманитарного эффекта и т.д. Фактически речь идёт о кардинальном изменении способов деятельности и о появлении новых массовых профессий. Несомненно, машинное обучение должно значительно изменить педагогические подходы и саму систему образования — от дошкольного до высшего, и эти актуальные вопросы требуют своих исследований.

* * *

В современных условиях машинное обучение стало неотъемлемым атрибутом получения новых знаний. Одна из проблем в области использования искусственного интеллекта — принятие человеком решений исходя из анализа получаемых данных. Оптимизация этого вида деятельности — актуальная, но отнюдь не новая проблема. В качестве иллюстрации можно привести многолетние работы Г.С. Альтшуллера и его последователей [39] по созданию ТРИЗ — теории решения изобретательских задач. Современные подходы в рамках этого направления основаны на построении онтологий тех или иных предметных областей, которые позволяют создавать когнитивный инструментарий для принятия решений [40].

Яркий пример такого рода современного проекта содержит отчёт [41] Центра исследований базовых моделей (CRFM, Стенфордский университет), в котором описана концепция экосистемы, ориентированной на эффективные интеллектуальные инновации в самых широких прикладных сферах: здравоохранении и биомедицине, юриспруденции и образовании, экономике и окружающей среде и т.д. В определённом смысле этот подход коррелирует с методологией интегрированного вычислительного окружения с базовой системой моделирования, которое представляет собой наукоёмкое функциональное наполнение для высокопроизводительного решения междисциплинарных прямых и обратных задач математического моделирования, различные аспекты которых изложены в работах [12, 13, 18–20, 42].

Универсальный характер машинного обучения и оптимизация на его основе планирования человеческой деятельности обуславливают его глобальную экспансию, что в совокупности с роботизацией неизбежно побуждает к философскому осмыслению особенностей и вызовов цифровой трансформации общества. Неслучайно появляются публикации о моральных аспектах внедрения искусственного интеллекта [43]. Очевидно, что инновации непосредственно влияют и на обеспечение научно-технологического суверенитета, и на производственные задачи государственного масштаба, и на обеспечение национальной безопасности, и на устойчивое развитие цивилизации.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (код проекта FSUN-2024-0003).

ЛИТЕРАТУРА

1. *LeCun Y., Bengio Y., Hinton G.* Deep learning // *Nature*. 2015, vol. 521, pp. 436–444.
2. *Weinan E.* Machine learning and computational mathematics // *Commun. Comput. Phys.* 2020, vol. 28, pp. 1639–1670.
3. *Dongarra J., Grigori L., Higham N.J.* Numerical algorithms for high performance computational science // *Phil. Trans. R. Soc.* 2020, vol. 378, iss. 2166.
4. *Xu Y., Zeng T.* Sparse Deep Neural Network for Nonlinear Partial Differential // *Equations. Numer. Math. Theor. Meth. Appl.* 2022, vol. 16, no. 1, pp. 58–78.
5. *Ильин В.П.* Математическое моделирование: философия науки // Сб. научно-поп. статей “Математика, механика и информатика”. М., 2017. С. 8–16.
Il'in V.P. Mathematical modeling: The philosophy of science // *Collection of Popular Science Articles “Mathematics, Mechanics, and Informatics”*. Moscow, 2017. Pp. 8–16. (In Russ.)
6. *Il'in V.P.* Artificial intelligence problems in mathematical modeling // *Voevodin V., Sobolev S. (eds.) Russian supercomputing days 2019. CCIS – Springer.* 2019, vol. 1129, pp. 505–516.
7. *Forrester A., Sobester A., Keane A.* Engineering Design via Surrogate Modeling: A Practical Guide. Wiley, New York, 2008.
8. *Яненко Н.Н., Коновалов А.Н.* Некоторые вопросы теории модульного анализа и параллельного программирования для задач математической физики и механики сплошной среды // *Современные проблемы математической физики и вычислительной математики*. М.: Наука, 1982. С. 200–217.
Yanenko N.N., Kononov A.N. Some questions of the theory of modular analysis and parallel programming for problems of mathematical physics and continuum mechanics // *Modern Problems of Mathematical Physics and Computational Mathematics*. Moscow: Nauka, 1982. Pp. 200–217. (In Russ.)
9. *Яненко Н.Н., Рычков А.Д.* Актуальные проблемы прикладной математики и математического моделирования. Новосибирск: Наука, 1982.
Yanenko N.N., Rychkov A.D. Topical Problems of Applied Mathematics and Mathematical Modeling. Novosibirsk: Nauka, 1982. (In Russ.)
10. *Ершов А.П., Ильин В.П.* Пакеты программ – технология решения прикладных задач. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР. Препринт № 121, 1978.
Ershov A.P., Il'in V.P. Software packages: Technology for solving applied problems. Preprint no. 121. Computer Center of the Siberian Branch of the USSR Acad. Sci. Novosibirsk, 1978.
11. *Самарский А.А., Михайлов А.П.* Математическое моделирование. М.: Физматлит, 2002.
Samarskii A.A., Mikhailov A.P. Mathematical Modeling/ (Moscow: Fizmatgiz, 2002. (In Russ.)
12. *Ильин В.П.* Как реорганизовать вычислительные науки и технологии // *Вестник РАН*. 2019. № 2. С. 232–242.
Il'in V.P. How to reorganize computer science and technology // *Vestn. Ross. Akad. Nauk.* 2019, no. 2, pp. 232–242. (In Russ.)
13. *Ильин В.П.* Математическое моделирование. Ч. 1. Непрерывные и дискретные модели. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017.
Il'in V.P. Mathematical Modeling. Part 1. Continuous and Discrete Models. Novosibirsk: SB RAS, 2017. (In Russ.)
14. *Il'in V.P.* Iterative Preconditioned Methods in Krylov Spaces: Trends of the XXI Century // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2021, vol. 61, no. 11, pp. 1750–1775.
15. *Il'in V.P.* Integrated Computational Environment for Grid Generation Parallel Technologies / L. Sokolinsky, M. Zymbler (eds.). CCIS. 2020, vol. 1263, pp. 58–68.
16. *Бутюгин Д.С., Ильин В.П.* CHEBYSHEV: принципы автоматизации построения алгоритмов в интегрированной среде для сеточных аппроксимаций начально-краевых задач // *Труды Международной конференции ПАВТ'2014*. Челябинск: изд-во ЮУрГУ, 2014. С. 42–50.
Butyugin D.S., Il'in V.P. CHEBYSHEV: Principles of automating the construction of algorithms in an integrated environment for grid approximations of initial-boundary value problems // *Proceedings of the International Conference PAVT'2014*. Chelyabinsk, 2014). Pp. 42–50. (In Russ.)
17. *Валиуллин А.Н., Ганжа В.Г., Ильин В.П., Яненко Н.Н.* Задача автоматического построения и исследования на ЭВМ разностных схем в аналитическом виде // *Доклады АН СССР*. 1984. Т. 275. № 3. С. 528–532.
Valiullin A.N., Ganzha V.G., Il'in V.P., Shapeev V.P., Yanenko N.N. Problem of automatic generation and investigation of difference schemes in symbolic form on a computer // *DAN SSSR*. 1984, vol. 275, no. 3, p. 528–532. (In Russ.)
18. *Il'in V.P.* Parallel intelligent computing in algebraic problems / Sokolinsky. *Parallel Computational Technologies. Communications in Computer and Information Science*. 2021, vol. 1437, pp. 108–117.
19. *Il'in V. P.* The integrated computational environment for optimization of complex systems // *Proceedings*

- of the 15th International Asian School-Seminar “Optimization Problems of Complex Systems” 2019. Pp. 65–67. <https://doi.org/10.1109/opcs.2019.888015>
20. *Il'in V.P., Skopin I.N.* About performance and intellectuality of supercomputer modeling // *Programming and Computer Software*. 2016, vol. 42, iss. 1, pp. 5–16.
 21. *Ушаков Д.М.* Введение в математические основы САПР. Новосибирск: ЗАО “ЛЕДАС”, 2008.
Ushakov D.M. Introduction to mathematical foundations of CAD. Novosibirsk, LEDAS Publ., 2008. (In Russ.)
 22. *Bastian P., Blatt M., Dedner A. et al.* The Dune Framework: Basic Concepts and Recent Developments, Computers and Mathematics with Applications, 2020. DOI.org/10.1016/j.camwa.2020.06.007
 23. OpenFOAM. <https://www.openfoam.com/>
 24. INMOST: A Toolkit for Distributed Mathematical Modeling. <https://www.inmost.org>
 25. *Kleppe A.* Software language engineering: Creating domain-specific language using metamodels. N.Y.: Addison-Wesley, 2008.
 26. DVM Systems. <http://www.keldush.ru/dvm>
 27. *Aleeva V.* Designing Parallel Programs on the Base of the Conception of Determinant // *Supercomputing. RuSCDays 2018 (Communications in Computer and Information Science)*. 2019, vol. 965, pp. 565–577.
 28. *Allan B., Armstrong R., Wolfe A. et al.* The CCA Core specification in a Distributed Memory // *SPMD Framework Concurrent Practice and Expedience*. 2002, vol. 14, pp. 323–345.
 29. *Malyshkin V.E.* Active knowledge, LuNA and literacy for oncoming centuries // *LNCS*. 2015, vol. 9465, pp. 292–303.
 30. *Ильин В.П.* Концепция и архитектура базы знаний систем линейных алгебраических уравнений // *Материалы IX конференции “Знания–Онтологии–Теории”* 2023, 2–6 октября 2023 г. Новосибирск: ИСИ СОРАН, 2023. С. 143–154.
Il'in V.P. The conception and architecture of the knowledge base of the systems of linear algebraic equations // *Proced. IX Conference “Knowledge-Ontology-Theory”*. Novosibirsk: ISI SBRAS, 2023. Pp. 143–154. (In Russ.)
 31. *Antonov A., Dongarra J., Voevodin V.* AlgoWiki Project as an Extension of the Top500 Methodology // *Supercomput. Frontiers and Innovations*. 2018, vol. 5, no. 1, pp. 4–10.
 32. *Yang S., Nachum O., Du Yi. et al.* Foundation Models for Decision Making: Problems, Methods, and Opportunities. ArXiv, abs/2303.04129. [cs. AI] 7 mar 2023.
 33. *Grossmann T.G., Komorowska U.J., Latz J., Schönlieb C.* Can physics informed neural networks beat the finite element method? // *IMA Journal of Applied Mathematics*, 2024, p. hxae011.
 34. *Rudikov A., Fanaskov V., Muravleva E. et al.* Neural operators meet conjugate gradients: The FCG-NO method for efficient PDE solving // *Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning, ICML 2024*, 2024.
 35. *Goswami S., Bora A., Yu Y., Karniadakis G.E.* Physics-informed deep neural operator networks // *Machine Learning in Modeling and Simulation: Methods and Applications*, Springer, 2023, pp. 219–254.
 36. *Vaswani A. et al.* Attention Is All You Need // *Proceed. of 31st Conference on Neural Information Processing Systems. NIPS*. 2017, pp. 1–11.
 37. *Srinivasan P., Demuriya O., Grabowski B., Shapeev A.V.* Electronic moment tensor potentials include both electronic and vibrational degrees of freedom // *Computational Materials*. 2024, vol. 10, iss. 1, id. 41.
 38. *Fanaskov V.S., Oseledets I.V.* Spectral neural operators // *Doklady Mathematics*. 2023, vol. 108, pp. S226–S232.
 39. *Альтшуллер Г.С.* Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск: Наука, 1986.
Altshuller G.S. To find idea. The introduction into theory of solving the invent tasks. Novosibirsk: Nauka, 1986. (In Russ.)
 40. *Zagorulko Yu., Zagorulko G.* Architecture of extensible tools for development of intelligent decision support systems // *New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques. Proc. of the 10th SoMeT-11*. Hamido Fujita (Eds.). Amsterdam: IOS Press, 2011. Pp. 457–466.
 41. *Bommasani R., Hudsa D.A., Adeli E. et al.* On the opportunities and Risks of Foundation Models. CRFM, Stanford, 2021. doi: 10.48550/arXiv.2108.07258.
 42. *Ильин В.П.* Программирование ближайшего будущего: концепция и прагматика // *Вестник РАН*. 2023. № 2. С. 150–161. DOI: 10.31857/S086958732302007X
Ilyin V.P. Programming for the Near Future: Concepts and Pragmatic Considerations // *Her. Russ. Acad. Sci.* 2023, no. 1, pp. 92–102. <https://doi.org/10.1134/S1019331623010112> (In Russ.)
 43. *Luccioni A., Bengio Yo.* On the Morality of Artificial Intelligence. arXiv:1912.11945 [cs.CY] /doi.org/10.48550/arXiv.1912.11945

CHALLENGES OF MACHINE LEARNING AND MATHEMATICAL MODELING

V.P. Ilyin^{a,b,*}

^a*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia*

^b*Novosibirsk State Technological University, Novosibirsk, Russia*

^{*}*E-mail: ilin@sscc.ru*

The article considers the challenges and problems of machine learning that arise in supercomputer mathematical modeling of real-world processes and phenomena. Currently, such modeling has become the main tool for obtaining fundamental and applied knowledge, as well as a condition for a significant increase in labor productivity and gross domestic product. The principles of modern predictive modeling based on high-performance computing, artificial intelligence and big data processing are described. The trends in the development of high-tech mathematical and software within the framework of integrated computing environments are analyzed; the latter imply a flexible expansion of the composition of the studied models and applied algorithms, the effective use of external products, adaptation to the evolution of computer platforms focused on a long life cycle. The methodology of machine learning based on the technological cycle is presented, which includes the formation and modification of models, the implementation of a computational experiment with the solution of direct and inverse problems, analysis of the results and decision-making on optimizing activities to achieve the goals.

Keywords: machine learning, mathematical modeling, high-performance computing, artificial intelligence, big data, science-intensive software, integrated computing environments.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИКЕ

© 2025 г. Ю.П. Галченко^{а,*}

^аИнститут проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, Москва, Россия

*E-mail: schtrek33@mail.ru

Поступила в редакцию 12.11.2024 г.

После доработки 12.12.2024 г.

Принята к публикации 16.12.2024 г.

В статье рассматривается комплекс вопросов, связанных с инженерной оценкой возможностей, обоснованием и созданием технологической концепции развития углеродно-нейтральной энергетики, использующей минеральное топливо. Проведён анализ механизмов достижения углеродной нейтральности систем естественной биоты благодаря замкнутому циклу обращения углерода, в котором его переход из энергетически пассивного состояния (неорганические соединения) в энергетически активное (органические соединения) происходит путём фотосинтеза. Сформулирована концепция технологии декарбонизации, подразумевающая формирование замкнутого цикла обращения углерода. На основе теорий природоподобных горных технологий и когнитивного резонанса составлена функциональная структура энерговоспроизводящего кластера тепловых электростанций с замкнутым циклом обращения углерода и выделением в атмосферу чистого кислорода. Такое преобразование технологии генерации тепловой энергии позволит не только достичь углеродной нейтральности, но и существенно сократит удельный расход первичного минерального топлива и объём отходов благодаря вторичному использованию углерода (связанного в процессе фотосинтеза) при декарбонизации продуктов сгорания.

Ключевые слова: углеродная энергетика, геоэкология, парниковый эффект, двуокись углерода, генерация тепловой энергии, гибридная технология, замкнутый углеродный цикл, кислород, технологический кластер, фотосинтез, декарбонизация газов, вторичное топливо, экономия минерального топлива.

DOI: 10.31857/S0869587325030032, EDN: СТРОА

Энергетическая основа современной технологической цивилизации — углеродосодержащие энергоносители (минеральное топливо), извлекаемые из литосферы нашей планеты. В эту группу полезных ископаемых входят нефть, газ, уголь, горючие сланцы и торф. Согласно новейшим обзорам, в настоящее время энергообеспечение техносферы

осуществляется в основном за счёт угля — более 35% всей используемой энергии, а в Китае и Индии — до 80%. В России уголь уступил первенство природному газу, обеспечивая примерно 18% выработки энергии при общей доле всех видов минерального топлива чуть более 70% [1, 2].

Эффект глобального потепления объясняется выбросами парниковых газов (в первую очередь двуокиси углерода), неизбежно сопровождающими рост техносферы в рамках генеральной технологической парадигмы общества неограниченного потребления. В связи с этим на первый план вышла проблема декарбонизации отходов углеродной энергетики, поскольку от её решения зависит успешная реализация глобальной концепции устойчивого развития и национальной Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (распоряжение Правительства РФ № 1225-р от 31.08.2002 г.).



ГАЛЧЕНКО Юрий Павлович — доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела горной экологии ИПКОН РАН.

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации [3, 4] связывает прогрессирующее накопление CO_2 в атмосфере с угольной энергетикой, со всеми невыгодными для России потенциальными ограничениями в области добычи этого вида полезных ископаемых. В качестве одного из путей решения этой экологической проблемы при подготовке стратегии были рассмотрены (но не задействованы вследствие технических и геоморфологических трудностей) опции технологии сжигания углеродсодержащего топлива с улавливанием и захоронением углекислого газа (Carbon Capture and Storage — CCS), подразумевающей выделение диоксида углерода из промышленных выбросов и закачивание его в сжатом виде в подземные геологические структуры для длительного хранения [5].

Следует отметить, что в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации впервые на столь высоком уровне была обозначена необходимость интенсификации работ по созданию различных модификаций природоподобных технологий как когнитивной основы для преодоления глобальных экологических противоречий за счёт экологизации технологической парадигмы развития техносферы в целом и её минерально-сырьевого комплекса в частности.

Современное положение дел и обоснование методологии решения проблемы. Углерод — энергетическая основа существования всего живого на планете. В естественной биоте он необходим для образования таких сложных молекул, как белки и ДНК. В рамках замкнутого углеродного цикла атомы углерода непрерывно перемещаются из атмосферы в биосферу и обратно с периодическим поглощением и выделением энергии [6–8]. Общий баланс углерода в этом круговороте представлен в таблице 1.

Появление и развитие *Homo sapiens* как биологического вида, существующего вне естественного баланса солнечной энергии, запустили процесс динамичного изменения естественного углеродного цикла. С одной стороны, формируя искусственную среду обитания, человек достаточно интенсивно

Таблица 1. Содержание углерода в естественном кругообороте [9]

Резервуар	Количество углерода, Гт
Атмосфера	530
Биота океанов	685–700
Биота экосистем суши	2000–2300
Пресноводная биота	1–3

разрушает биоту и меняет количественные характеристики природного углеродного цикла. С другой стороны, построив всю энергосистему антропосферы почти исключительно на минеральном топливе, человечество создало параллельную замкнутому природному круговороту углерода незамкнутую систему обращения законсервированного в литосфере органического углерода прошлых геологических эпох. Этот цикл начинается с добычи минерального топлива, включает использование энергии находящегося в нём углерода в различных антропогенных процессах и завершается депонированием углекислого газа в атмосфере со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями. Динамика этих процессов отражена в таблице 2.

Согласно современной типизации кризисов, накопление CO_2 в атмосфере имело своим следствием возникновение напряжённой ситуации, дальнейшее усугубление которой неизбежно приведёт к полноценному кризису [12]. Поиск путей и методов устранения этой тенденции в настоящее время идёт по двум основным направлениям. Первое предусматривает замену минеральных энергоносителей возобновляемыми источниками энергии, второе предполагает изменение технологии использования минерального топлива в пользу полной очистки газообразных отходов энергогенерации от углекислого газа. Показатели и перспективы развития первого направления достаточно подробно рассмотрены в материалах Мирового энергетического агентства [11], а также ряда других аналитических центров [13, 14]. По результатам этих исследований

Таблица 2. Показатели антропогенного углеродного цикла [10, 11]

Показатель	Год								
	1890	1910	1930	1950	1970	1990	2010	2020	2022
Добыча угля, млрд т / год	—	—	—	0.261	3.77	4.7	6.2	7.74	8.8
Добыча нефти, млрд т / год	—	—	0.201	0.52	2.303	2.8	3.58	4.175	4.407
Добыча природного газа, млрд м ³ / год	—	—	0.46	192	976.1	1969.7	3150.2	3860.6	4043.8
Эмиссия углерода, Гт/год	0.8	1	1.2	2.1	3.9	6.2	8.9	10.1	10.5
Концентрация CO_2 в атмосфере, ppm*	290	300	306	310	325	352	390	439	445

Примечание: * от англ. “parts per million” или “частей на миллион”.

построен график (рис. 1), из которого видно, что с начала XXI в. быстро развивается возобновляемая энергетика, и через 40–50 лет она может сравняться по объёму генерации с энергией, получаемой за счёт энергоносителей литосферы. Однако абсолютное доминирование “зелёной” энергии наступит, по мнению экспертов, в более отдалённой перспективе.

Идеологической основой второго направления борьбы с накоплением CO_2 в атмосфере служит (наряду с упомянутыми выше технологиями CCS) исследование возможностей снижения его количества за счёт физико-химических процессов минеральной декарбонизации газообразных отходов тепловых электростанций. В этом случае техногенный углекислый газ, вступая в реакцию с оксидами щёлочноземельных или щелочных металлов, либо с силикатными минералами, в условиях экзотермического отвода энергии образует твёрдые и химически стабильные карбонаты. Использование методики минеральной декарбонизации продуктов сжигания обусловлено наличием и концентрацией оксидов двухвалентных металлов (Ca^{2+} , Mg^{2+}), которые обычно присутствуют в составе силикатов, алюмосиликатов и гидроксидов, например, серпентинита ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), оливина ($(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$), волластонита (CaSiO_3) и т.п. При этом эффективность созданных на этой основе технологий определяется массовой долей катионов, которая, в свою очередь, влияет на скорость протекания реакций. Для связывания 1 т двуокиси углерода требуется от 1.6 до 3.7 т чистых природных силикатов [15], которые, как и минеральное топливо, надо добывать из литосферы, что влечёт за собой вторичные экологические проблемы.

Кроме того, обсуждаются технологии, в которых в качестве активного вещества, связывающего CO_2 , выступают продукты термической переработки бытовых или промышленных отходов [16]. Здесь возникает вполне очевидное внутреннее

противоречие — неизбежность выделения в атмосферу углекислого газа при первичной термической переработке отходов с целью получения активного вещества для последующего связывания CO_2 .

С общеэкологической точки зрения обе технологии декарбонизации газообразных продуктов сгорания углеродосодержащего топлива построены на том, что не замкнутый по углероду процесс получения тепловой энергии с депонированием CO_2 в атмосфере превращается в такой же не замкнутый по углероду процесс с образованием твёрдых отходов, депонируемых в абиоте природных экосистем. Таким образом, экологическая защита атмосферы от парникового газа во всех рассмотренных случаях обеспечивается за счёт адекватной по объёму связанного углерода экологической нагрузки на биосферу при размещении в ней дополнительных твёрдых отходов. В обозримом будущем не удастся полностью отказаться от использования углеродосодержащих горючих ископаемых. Поэтому необходимым условием практической реализации упомянутой государственной стратегии остаётся решение фундаментальной проблемы полной декарбонизации продуктов сгорания тепловых электростанций, в первую очередь угольных (с учётом реальной структуры сырьевой базы России).

Согласно основным положениям теории когнитивного резонанса, сигналы похожих объектов вызывают однотипный отклик в сознании субъекта [17]. Применительно к обсуждаемой проблеме это означает, что в методологическом плане технологические ответы на возникающие вызовы надо искать там, где они уже получены, то есть в схожих по целеполаганию биологических системах. Построив когнитивно-резонансную иерархию факторов, определяющую экологическую безопасность окисления углерода, можно воспроизвести функциональную структуру технологических систем, обладающих тем же качеством. Эта идея была впервые выдвинута более 20 лет назад в Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН (ИПКОН РАН) в виде гипотезы о взаимозависимости уровня экологической безопасности технических и биологических систем и степени единообразия принципов построения их функциональной структуры [18]. Последовательное развитие этой гипотезы в рамках поисковых исследований (11 грантов РФФИ) привело к формированию научных основ создания природоподобных горных технологий для подземной разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых и способов адаптации типовых решений к изменяющимся горно-геологическим условиям [19–22]. Общеметодологические подходы к решению горнотехнических проблем и методы трансформации функциональной структуры биологических систем в технологические кластеры позволили сформулировать генеральную идею настоящей работы.

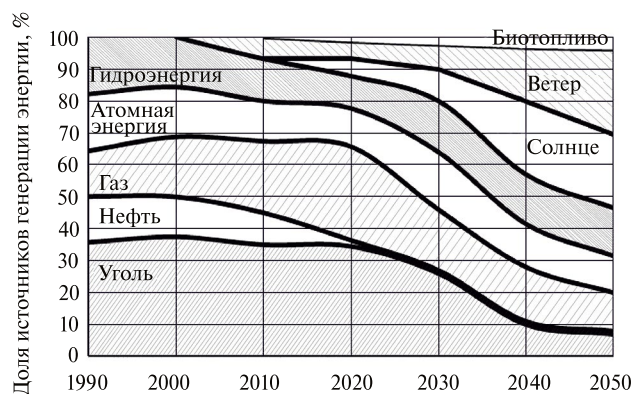


Рис. 1. Состояние и перспективы развития различных способов и источников генерации энергии в мире [11–14]

Реакция окисления углерода составляет энергетическую основу внутреннего развития как биологических, так и антропогенных технических систем, но с тем различием, что в первом случае она обеспечивает животворные силы природы, а во втором — служит источником одной из глобальных экологических проблем технократической цивилизации. Как и в случае с горными технологиями, идея состоит в применении законов и схем движения и преобразования углерода в биологических системах для обоснования функциональной структуры технических систем. Таким образом, общая методология решения данной проблемы представляет собой синтез функциональной структуры декарбонизированной технологии использования углеродосодержащего минерального топлива на основе анализа процессов и направлений потоков глобального биогеохимического цикла обращения углерода в естественных геосферах.

Учитывая абсолютно антагонистический характер противоречий между техно- и биосферой [19], методику исследований целесообразно строить на положениях гомеостатики, которые предполагают неразрушающее совмещение противоположностей путём поэтапного формирования геотехнологического гомеостата на основе гомеостата биологического, с заменой его содержательных элементов на технологические аналоги. Этот приём позволяет создавать из взаимодействующих антагонистов такие природно-технические системы, в которых новые экологические свойства технической составляющей формируются за счёт биоподобной функциональной структуры. Эти природоподобные технологии определяют как конвергентные [21].

Результаты исследований. В основе существования естественной биоты Земли лежит круговорот углерода, то есть его постоянное перемещение между биологическими объектами и неорганической

материей в составе абиоты. Этот процесс происходит по двум основным циклам, детально изученным и многократно описанным в литературе [9, 23, 24]. Постараемся рассмотреть их в контексте экологически безопасного получения энергии при сжигании минерального углеродосодержащего топлива. Углерод, находящийся в составе литосферы в чистом виде (графит, алмаз) или в форме неорганических соединений (карбонатные породы), а также углерод атмосферы в виде углекислого газа не может вступать в экзотермические реакции и поэтому не является потенциальным энергоносителем. Эти свойства он приобретает только в составе органических соединений, которые производят продуценты биологических систем, образуя биомассу.

Устойчивое развитие и экологическая чистота природно-равновесных систем естественной биоты обеспечиваются за счёт большого и малого циклов замкнутого биотического обмена, которые регулируются законом Вернадского—Бауэра (рис. 2) [21]. Обращение углерода в биоте сухопутных экосистем происходит по малому кругу и в масштабе времени, определяемом продолжительностью жизни растений. Фотосинтез — двусторонний процесс. В светлое время суток углерод участвует в синтезе органических кислот. При этом каждая молекула CO_2 , полученная из атмосферы, освобождает в результате расщепления воды одну молекулу кислорода, которая возвращается в атмосферу. Ночью энергия и восстановительные силы этих кислот под контролем ферментов затрачиваются на образование нового органического вещества [9]: $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{энергия солнца (2.7 МДж)} + \text{хлорофилл} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$.

В ходе этой реакции возобновляемая энергия солнечного излучения преобразуется во внутримолекулярную энергию органических соединений и таким образом возвращает неорганическому углероду способность вступать в экзотермические

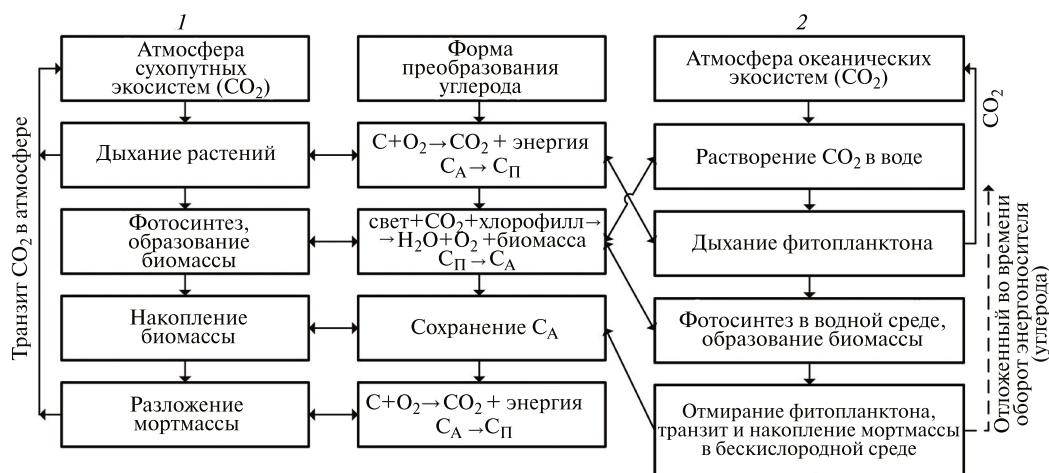


Рис. 2. Схема движения и преобразования углерода в системах сухопутных (1) и водных (2) продуцентов
 C_A — углерод в составе органических соединений; $\text{C}_\text{П}$ — углерод в составе неорганических соединений

реакции. В биомассе продуцентов, составляющих сухопутные растительные сообщества, эти соединения в основном представлены углеводами с общей формулой $C_m(H_2O)_n$ и лигнином, приблизительная брутто-формула которого имеет вид $(C_{31}H_{34}O_{11})_{12}$. Групповой вещественный состав основных продуцентов представлен в таблице 3. По истечении срока жизни растений углеродосодержащие органические соединения попадают в почву в виде мортмассы. Под воздействием почвенной биоты она минерализуется с образованием таких конечных продуктов, как CO_2 и H_2O . Выход углекислого газа из педосферы в атмосферу замыкает цикл обращения углерода в экосистемах суши и обнуляет общий кислородный баланс систем продуцентов.

Большой круг биологического обмена углерода между атмосферой и гидросферой связан с жизнедеятельностью водных экосистем, прежде всего океанических. Удельная продуктивность фотосинтеза в гидросфере несколько меньше, чем на суше, а общая масса фитопланктона существенно уступает массе сухопутных продуцентов. Однако годовая продукция фотосинтеза в водных экосистемах соизмерима с сухопутными вследствие огромной разницы в продолжительности жизни фотосинтетиков в сравниваемых системах. Оборот фотосинтезирующей биомассы и её полное обновление в гидросфере более чем в 3000 раз выше, чем в экосистемах суши [9]. Образующаяся в итоге мортмасса фитопланктона, в которой углерод находится в составе органических соединений и способен вступать в экзотермические реакции, осаждаясь в бескислородной водной среде, не разлагается с выделением CO_2 и энергии, а накапливается в донных отложениях, замыкая тем самым углеродный цикл, но уже в масштабе геологического времени.

Совместное развитие техносферы и биосферы, сопряжённое через идеологию коэволюции [25] антагонистов, всегда осуществляется в виде моделей управляемых природно-технических систем, в которых техногенная экологическая нагрузка лимитирована ресурсом самовосстановления биоты. Очевидно, что в сфере энергетики выполнение этого условия возможно только в том случае, когда использование и преобразование основного энергоносителя в технической составляющей системы происходит в режиме замкнутого круговорота вещества, который обеспечивает устойчивое развитие природной составляющей.

С помощью теории блочно-иерархического строения природы и правила блочно-иерархического отбора (правило БИО) достаточно просто сформировать общую методологию подхода к достижению углеродной нейтральности при генерации тепловой энергии на электростанциях, сжигающих минеральное топливо. Так как каждый высший иерархический уровень можно рассматривать как совокупность блоков низшего уровня, а низший уровень — как совокупность следующих за ним более мелких блоков-фрагментов, вполне осуществима и обратная задача: путём целенаправленного отбора фрагментов нижнего иерархического уровня по правилу БИО можно сформировать блоки высшего уровня, которые соответствуют реальным явлениям другого класса [26]. В этом случае компоновку целого технологического кластера отбора тепловой энергии углеродного топлива из входящих в него фрагментов (этапов движения и преобразования угля) можно осуществить последовательно, переходя от малых блоков к более крупным, разделяя этот процесс на уровни с последующим отбором по критерию совпадения направлений преобразования углерода. С помощью компоновки исполнительных кластеров конвергентных горных технологий можно построить схему гомеостатической трансформации внутренней структуры океанического цикла замкнутого обращения углерода в функциональную технологию декарбонизации продуктов сгорания минерального топлива. Производится подбор соответствующих целевых аналогов по критерию гомеостатического перехода (совпадение формы преобразования углерода). Биохимическая концепция формирования замкнутого круговорота углерода как основного энергоносителя, обеспечивающего существование биосферы, может быть легко преобразована в рабочую технологию использования минерального топлива для генерации тепловой энергии с практически полной углеродной нейтральностью и дополнительными выбросами свободного кислорода в атмосферу.

Отсутствие антропогенных технологий, полноценно воспроизводящих процесс фотосинтеза, делает невозможным замену соответствующего содержательного элемента биологического гомеостата на втором этапе природного замкнутого цикла обращения углерода (см. рис. 2) на технологический целевой аналог. Поэтому для восстановления энергоспроизводящей функции углерода в функцио-

Таблица 3. Групповой вещественный состав сухопутных продуцентов [9]

Продуценты	Доля органических соединений, %			
	Липиды	Белки	Углеводы	Лигнин
Высшие растения	<5	5–10	>50	>25
Лишайники и мхи	8–10	15–30	30–40	10

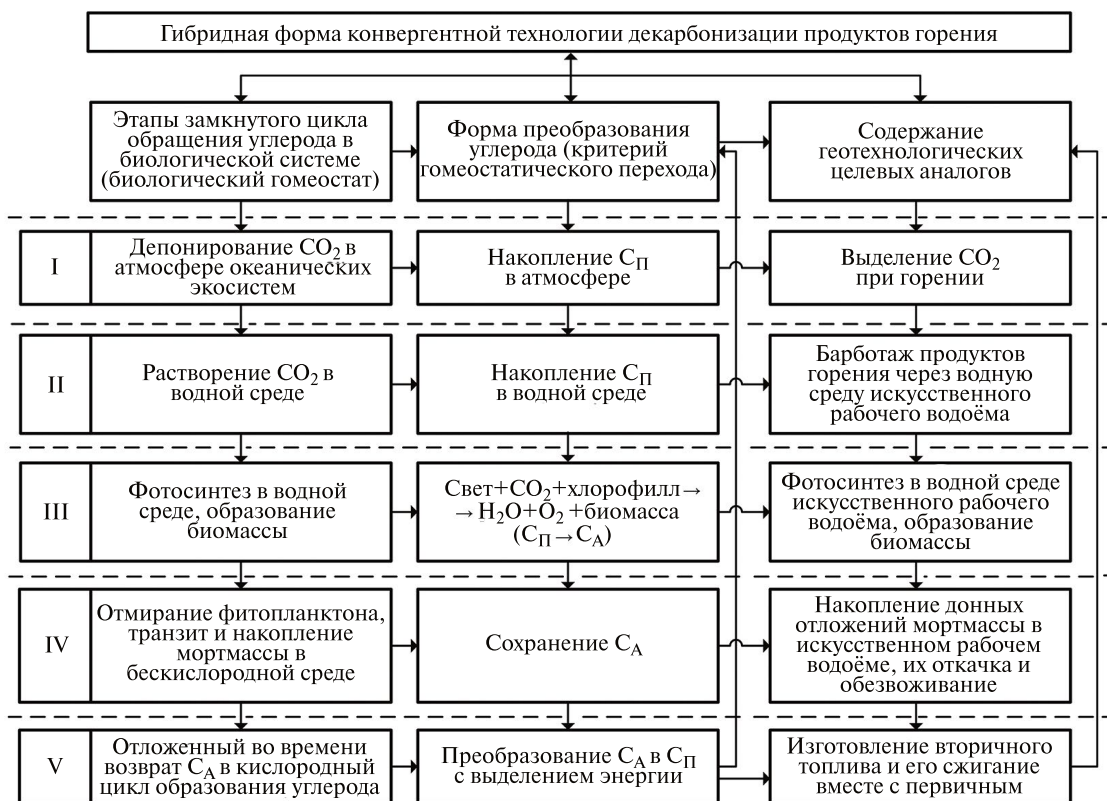


Рис. 3. Гомеостатическая трансформация биологического цикла обращения углерода в океанических экосистемах в функциональную структуру конвергентной технологии гибридного типа для декарбонизации газообразных отходов горения минерального топлива

нальную структуру технологии встраивают чисто биологический процесс — фотосинтез в заселённой фитопланктоном водной среде рабочего водоёма. В горнопромышленных районах для этого могут использоваться отработанные рудные или угольные карьеры. Оптимальная плотность популяции фитопланктона определяется механизмами пищевого гомеостаза и условиями динамического равновесия в зависимости от объёма поступающей и поглощаемой двуокиси углерода. В этом случае технология, оставаясь конвергентной по содержанию, становится гибридной по форме (рис. 3) [27].

Газообразные продукты сгорания первичного минерального топлива подаются в водную среду путём воздушно-пузырькового барботажа через систему распыления. Для поддержания круглосуточного фотосинтеза в активном слое водной среды устанавливают стационарные осветительные приборы, расстояние между которыми определяют в зависимости от оптимальной для фотосинтеза освещённости (в соответствии с законом Бугера—Ламберта—Бера¹). Система освещения питается

от солнечных батарей, размещённых на породных отвалах, необходимая температура воды соблюдается за счёт температуры газообразных продуктов сжигания топлива [28, 29].

При движении пузырьков через освещённую воду углекислый газ растворяется и включается в процесс фотосинтеза фитопланктона, обеспечивая прирост биомассы и высвобождение кислорода в атмосферу. Образующийся в результате жизнедеятельности фитопланктона детрит осаждается и собирается в виде донных отложений мортмассы. Смесь донных отложений с водой (пульпа) периодически откачивается, поступает в блок обезвоживания и используется для производства вторичного топлива, которое возвращается в начало процесса генерации тепловой энергии и сжигается в смеси с первичным топливом, замыкая технологический цикл обращения углерода. Реализация гибридной технологии декарбонизации получения тепловой энергии из минерального топлива будет полностью зависеть от вида топлива и его конкретных характеристик. В результате исследований особенностей энергетического использования угля, выполненных в ИПКОН РАН, были получены патентоспособные [30, 31] и непротиворечивые системы, техническое обеспечение которых соответствует современному уровню развития отрасли.

¹ Закон Бугера—Ламберта—Бера определяет постепенное ослабление параллельного монохроматического (одноцветного) пучка света при распространении его в поглощающем веществе.

* * *

Энергетическую основу современной технократической цивилизации до сих пор составляют углеродосодержащие энергоносители, добываемые из литосферы, в первую очередь уголь и природный газ. Генерация тепловой энергии на электростанциях происходит в рамках незамкнутого углеродного цикла с полным депонированием образующегося углекислого газа в атмосфере.

Определяющую роль в возникновении эффекта глобального потепления и нарастающих кризисных климатических явлений играет накопление техногенных парниковых газов в атмосфере, что неизбежно при стремительном росте энерговооружённости антропосферы. Поиск путей решения этих проблем ведётся по двум основным направлениям:

- замена минеральных энергоносителей возобновляемыми источниками энергии;
- выделение углекислого газа из поступающих в антропосферу газообразных продуктов сжигания минерального топлива, его обработка и принудительное депонирование в других геосферах Земли.

Результаты различных прогнозных исследований, включая последние расчёты, выполненные с применением методов интеллектуального анализа и моделирования на основе нейронных сетей, показали, что, несмотря на приоритет “зелёной” энергетики, тепловая энергетика на основе ископаемых энергоносителей в обозримой перспективе сохранит своё положение в общем объёме генерации энергии, хотя и снизит её долю с современных 58% до 20–25% после 2050 г.

На основе когнитивного анализа механизмов преобразования углерода в малом и большом замкнутых циклах биологического обмена в биоте сухопутных и океанических экосистем получена общая методология создания принципиально нового гибридного варианта конвергентной технологии декарбонизации газообразных отходов, возникающих в ходе сжигания минерального топлива. Прекращение выброса в атмосферу углекислого газа (независимо от типа топлива) обеспечивается за счёт того, что углерод как основной теплоноситель в технологической схеме обращается по замкнутому циклу с выделением свободного кислорода.

Применение новой биоподобной функциональной структуры при формировании технологического кластера открывает реальную перспективу достижения углеродной нейтральности при использовании минерального топлива в энергетике и решения одной из самых острых экологических проблем современности путём устранения её причин, а не борьбы с последствиями. Предлагаемая гибридная технология декарбонизации тепловой генерации энергии для угольных электростанций защищена патентом.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках государственного задания FMMS-2024.0100.2024-2028 ИПКОН РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / Под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина. М.: ИНЭИ РАН — Московская школа управления SKOLKOVO, 2019.
Forecast of the development of energy in the world and Russia 2019 / Ed. by A.A. Makarov, T.A. Mitrova, V.A. Kulagin. Moscow: ERI RAS — Moscow School of Management SKOLKOVO, 2019. (In Russ.)
2. Statistical Review of World Energy 2020. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (дата обращения 12.12.2020).
3. Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р “Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года”.
Decree of the Government of the Russian Federation of October 29, 2021 no. 3052-r “On Approval of the Strategy for Socio-economic Development of the Russian Federation with low Greenhouse Gas Emissions until 2050”. (In Russ.)
4. Указ Президента РФ от 28 февраля 2024 г. № 145 “Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации”.
Decree of the President of the Russian Federation of February 28, 2024 no. 145 “Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation”. (In Russ.)
5. Архипов В.Н., Яценко С.А., Анкундинов А.А. и др. Технология CCS: от теории к практике // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 8. С. 107–110.
Arkhipov V.N., Yashchenko S.A., Ankundinov A.A. et al. CCS technology: from theory to practice // Exposition Oil Gas. 2023, no. 8, pp. 107–110. (In Russ.)
6. Хейзен Р. Симфония № 6. Углерод и эволюция почти всего. М.: Альпина нон-фикшн, 2021.
Hazen R.M. Symphony in C: Carbon and the Evolution of (Almost) Everything. N.Y.—London: W.W. Norton & Company, 2019.
7. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter7-1.pdf>
8. <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07602-x>
9. Лабутова Н.М., Банкина Т.М. Основы биогеохимии. СПб: Изд-во СПбГУ, 2013.
Labutova N.M., Bankina T.M. Fundamentals of biogeochemistry. St. Petersburg: St. Petersburg State University Publishing House, 2013. (In Russ.)

10. globalcarbonatlas.org (дата обращения: 15.07.2024).
11. World Energy Outlook 2024. <https://www.iea.org/dsta-and-statistics>
12. Окрушко В.Я. Содержание кризисного процесса в антикризисном управлении // Проблемы современной экономики. 2010. № 2 (34). С. 12–88.
Okrushko V.Ya. The content of the crisis process in anti-crisis management // Problems of modern economics. 2010, no. 2 (34), pp. 12–88. (In Russ.)
13. Доля солнца и ветра в глобальной выработке электроэнергии может достичь 40% в 2030 г. // Renen.ru, 26 сентября 2023 г.
The share of solar and wind in global electricity generation may reach 40% in 2030 // Renen.ru, September 26, 2023. (In Russ.)
14. Renewable Energy Capacity Statistics 2023. Irena, 2024.
15. Улавливание и хранение двуокиси углерода. С. 4, рис. РП.3. https://ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_spm_ts_ru.pdf
Carbon dioxide capture and storage. P. 4, fig. RP.3. (In Russ.)
16. Колодежная Е.В., Шадрюнова И.В., Гаркави М.С. Потенциал использования шлаков мусоросжигательных установок для связывания углекислого газа // Экология и промышленность России. 2022. № 3. С. 40–45.
Kolodezhnaya E.V., Shadrunova I.V., Garkavi M.S. Potential of using waste incinerator slag to sequester carbon dioxide // Ecology and industry of Russia. 2022, no. 3, pp. 40–45. (In Russ.)
17. Хмылёв В.Л., Кондрасюк В.А. Коммуникативные стандарты интенсивности когнитивного резонанса // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 390. С. 66–72.
Khmylev V.L., Kondrasyuk V.A. Communication standards of cognitive resonance intensity // Tomsk State University Journal. 2015, no. 390, pp. 66–72. (In Russ.)
18. Галченко Ю.П. Экологический кризис и кризис экологии // Экологические системы и приборы. 2004. № 6. С. 12–21.
Galchenko Yu.P. Ecological crisis and crisis of ecology // Ecological systems and devices. 2004, no. 6, pp. 12–21. (In Russ.)
19. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Геоэкология освоения недр и экогеотехнология разработки месторождений. М.: Научтехлитиздат, 2015.
Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. Geoecology of subsurface development and ecogeotechnology of field development. Moscow: Nauktechlitizdat, 2015. (In Russ.)
20. Галченко Ю.П., Сабянин Г.В. Проблемы геотехнологии жильных месторождений. М.: Научтехлитиздат, 2011.
Galchenko Yu.P., Sabyanin G.V. Problems of geotechnology of vein deposits. Moscow: Nauktechlitizdat, 2011. (In Russ.)
21. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Природоподобная геотехнология комплексного освоения недр: проблемы и перспективы. М.: Научтехлитиздат, 2020.
Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. Nature-like geotechnology of integrated subsoil development: problems and prospects. Moscow: Nauktechlitizdat, 2020. (In Russ.)
22. Галченко Ю.П., Ерёмченко В.А. Природно-технические системы подземной разработки месторождений на основе конвергентных горных технологий. М.: Горная книга, 2023.
Galchenko Yu.P., Eremenko V.A. Natural and technical systems of underground mining based on convergent mining technologies. Moscow: Gornaya kniga, 2023. (In Russ.)
23. Замолодчиков Д.Г. Углеродный цикл и изменения климата // Окружающая среда и энергосодержание. 2021. № 2. С. 53–69.
Zamolodchikov D.G. Carbon cycle and climate change // Journal of Environment Earth and Energy Study. 2021, no. 2, pp. 53–69. (In Russ.)
24. Falkowski P., Scholes R.J., Boyle E. et al. The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System // Science journal. 2000, no. 549, pp. 291–296.
25. Моисеев Н.Н. Избранные труды. Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. М.: Тайдекс Ко, 2003.
Moiseev N.N. Selected works. Vol. 2. Interdisciplinary studies of global problems. Moscow: Tydex Co., 2003. (In Russ.)
26. Иваницкий Г.Р. Вирази закономерностей. Правило БИО-стержень науки. М.: Наука, 2011.
Ivanitsky G.R. Turns of patterns. The BIO rule is the core of science. Moscow: Nauka, 2011. (In Russ.)
27. Киричек А.В., Федонин О.Н., Хандожко А.В. и др. Гибридные технологии и оборудование аддитивного синтеза изделий // Научно-технические технологии в машиностроении. 2022. № 8 (134). С. 31–38.
Kirichek A.V., Fedonin O.N., Khandozhko A.V. et al. Hybrid technologies and technical equipment for additive synthesis of products // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2022, no. 8 (134), pp. 31–38. (In Russ.)
28. Лантев В.А., Лантева А.Г. Гидродинамика барботажных аппаратов. Казань: Центр инновационных технологий, 2017.
Laptev V.A., Lapteva A.G. Hydrodynamics of barbotage apparatuses. Kazan: Center for Innovative Technologies, 2017. (In Russ.)
29. Козерук А.С., Грищенко А.В. Расчёт освещённости от источников различного типа. Минск: БНТУ, 2020.

- Kozeruk A.S., Grishchenko A.V.* Calculation of illumination from sources of various types. Minsk: BNTU, 2020. (In Russ.)
30. *Захаров В.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В.* Патент РФ № 2792065 “Способ обеспечения углеродной нейтральности использования угля для генерации тепловой энергии при работе электростанций”. Заявка № 2022117540, приоритет 27.06.2022 г., опублик. 16.03.2023 г., бюлл. № 8. *Zakharov B.N., Galchenko Yu.P., Kalabin G.V.* Patent of the Russian Federation no. 2792065 “A method for ensuring carbon neutrality of the use of coal for generating thermal energy during operation of power plants”. (In Russ.)
31. *Захаров В.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В.* Способ ресурсосберегающей и малоотходной декарбонизации процесса генерации тепловой энергии при работе электростанций, использующих уголь. Заявка № 2024120416 от 19.07.2024 г. *Zakharov V.N., Galchenko Yu.P., Kalabin G.V.* A method of resource-saving and low-waste decarbonization of the thermal energy generation process during operation of coal-fired power plants. Application no. 2024120416 of 07.19.2024. (In Russ.)

ENSURING CARBON NEUTRALITY OF THE USE OF MINERAL FUELS IN THE ENERGY SECTOR

Yu.P. Galchenko^{a,*}

^a*Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^{*}*E-mail: schtrek33@mail.ru*

The article considers a set of issues related to the engineering assessment of capabilities, justification and creation of a technological concept for the development of carbon-neutral energy using mineral fuels. The analysis of the mechanisms for achieving carbon neutrality of the energy supply of natural biota systems is carried out. It is shown that this is ensured due to a closed cycle of carbon conversion, in which its transition from an energetically passive state (inorganic compounds) to an energetically active state (organic compounds) occurs during photosynthesis. The concept of decarbonization technology has been formulated, implying the formation of a closed carbon circulation cycle. Based on the theories of nature-like mining technologies and cognitive resonance, the functional structure of an energy-reproducing cluster of thermal power plants with a closed cycle of carbon conversion and the release of pure oxygen into the atmosphere has been compiled. Such a transformation of thermal energy generation technology will not only achieve carbon neutrality, but also significantly reduce the specific consumption of primary mineral fuels and the amount of waste due to the secondary use of carbon (bound in the process of photosynthesis) during decarbonization of combustion products.

Keywords: carbon energy, geoecology, greenhouse effect, carbon dioxide, thermal energy generation, hybrid technology, closed carbon cycle, oxygen, technological cluster, photosynthesis, decarbonization of gases, secondary fuel, mineral fuel economy.

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

ПЕРСОНИФИЦИРОВАННЫЕ СТРАТЕГИИ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОСТРЫХ МИЕЛОИДНЫХ ЛЕЙКОЗОВ У БОЛЬНЫХ РАЗНОГО ВОЗРАСТА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОЙ ИНФЕКЦИОННОЙ УГРОЗЫ

© 2025 г. А.В. Виноградов^{a,b,*}, Д.В. Ласточкина^{c,**}, Л.А. Хамидуллина^{d,e,***},
И.С. Пузырев^{d,****}, С.В. Сазонов^{a,f,*****}

^aУральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

^bСвердловская областная клиническая больница № 1, Екатеринбург, Россия

^cРоссийский научно-исследовательский институт гематологии и трансфузиологии ФМБА России,
Санкт-Петербург, Россия

^dИнститут органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия

^eУральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия

^fИнститут медицинских клеточных технологий, Екатеринбург, Россия

*E-mail: a.vinogradov@egov66.ru

**E-mail: litvinova-dasha174@mail.ru

***E-mail: khamidullina@ios.uran.ru

****E-mail: puzylev@ios.uran.ru

*****E-mail: prof-ssazonov@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.12.2024 г.

После доработки 22.12.2024 г.

Принята к публикации 26.01.2025 г.

В рамках реализации национального проекта “Борьба с онкологическими заболеваниями” в систему здравоохранения Российской Федерации активно внедряют современные противоопухолевые лекарственные препараты таргетного действия. Применение ингибиторов FMS-подобной тирозинкиназы 3 (FLT3) в программной полихимиотерапии острых миелоидных лейкозов, базирующееся на генетической стратификации, оказалось эффективным, несмотря на эпидемические риски, обусловленные пандемией COVID-19. В условиях структурной перестройки здравоохранения из-за глобальной инфекционной угрозы данные проведенных исследований обсуждаются с точки зрения перехода к персонализированным медицинским услугам, которые предоставляются за счёт средств обязательного медицинского страхования.

Ключевые слова: острый миелоидный лейкоз, ген FLT3, ингибитор тирозинкиназы, новая коронавирусная инфекция.

DOI: 10.31857/S0869587325030046, **EDN:** STQNHZ

ВИНОГРАДОВ Александр Владимирович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры гистологии УГМУ, врач-гематолог отделения гематологии, химиотерапии и трансплантации костного мозга СОКБ № 1. ЛАСТОЧКИНА Дарья Вячеславовна — кандидат медицинских наук, младший научный сотрудник РосНИИГТ ФМБА России. ХАМИДУЛЛИНА Лилия Альбертовна — кандидат химических наук, младший научный сотрудник лаборатории перспективных органических материалов ИОС УрО РАН, научный сотрудник НИИ ФПМ ИЕиМ УрФУ. ПУЗЫРЕВ Игорь Сергеевич — кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории органических материалов ИОС УрО РАН. САЗОНОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой гистологии УГМУ, заместитель главного врача по науке ИМКТ.

Важная отличительная особенность опухолей — неконтролируемая пролиферация клеток (разрастание ткани путём деления клеток), возникает из-за изменённой клеточной сигнализации, опосредованной различными белками, включая рецепторы клеточной поверхности, цитокины и факторы роста [1]. Современные достижения в области клеточной и молекулярной биологии внесли большой вклад в понимание физиологических механизмов кроветворения. Выживание, пролиферация и дифференцировка признаны фундаментальными клеточными процессами, отвечающими за нормальное функционирование гемопоэтических стволовых клеток — предшественников клеток крови. При остром миелоидном лейкозе (ОМЛ) — злокачественной опухоли из гемопоэтических клеток-предшественников — обнаруживаются молекулярные аномалии, нарушающие баланс между пролиферацией, выживанием и дифференцировкой клеток и обуславливающие рост опухолевого клона [2].

Исследователи пришли к выводу, что лейкемогенез — это процесс, на который влияют различные события, включая генетические изменения в протоонкогенах или генах-супрессорах, совместно с эпигенетическими факторами или факторами окружающей среды [3]. Гены, участвующие в лейкемогенезе, связаны с такими клеточными функциями, как взаимодействие лиганд–рецептор, передача сигнала, внутриклеточная компартиментализация¹, контроль клеточного цикла и апоптоз (программируемая клеточная гибель). В частности, онкогенные aberrации², лежащие в основе лейкоза, можно разделить на два класса мутаций. Мутации первого класса дают опухолевым клеткам преимущество в пролиферации и выживании, как правило, в результате aberrантной активации сигнальных путей. Мутации второго класса приводят к нарушению дифференцировки вследствие взаимодействия с факторами транскрипции. В результате кооперации двух классов мутаций адаптивные преимущества получают опухолевые клетки, способные к пролиферации, но не к дифференцировке [4, 5]. Кроме того, избыточная экспрессия или мутация определённых классов сигнальных белков ослабляют естественный иммунный контроль и тем самым способствуют развитию опухолевого процесса.

В настоящее время нужно обратить внимание на лечение ОМЛ в условиях эпидемиологических рисков, обусловленных инфекционными заболеваниями, в том числе новой коронавирусной инфекцией. В мае 2023 г. Всемирная организация здравоохране-

ния объявила о завершении пандемии COVID-19 и окончании режима чрезвычайной ситуации международного значения. В связи с этим требуется внедрение изменений в тактику ведения пациентов, так как больные с острым лейкозом, получающие химиотерапевтическое лечение, относятся к группе высокого риска летального исхода при инфицировании.

Рецепторные тирозинкиназы (РТК) — одни из ключевых медиаторов системы клеточной передачи сигналов, нередко мутирующие при опухолевых заболеваниях, в частности при остром миелоидном лейкозе [6]. В литературе описаны около 60 различных рецепторных тирозинкиназ, разделённых на 20 семейств в зависимости от структуры. Семейство PDGFR включает пять тирозинкиназ (табл. 1) [7]. Некоторые РТК играют важную роль в гомеостазе популяции стволовых кроветворных клеток и мутируют при онкогематологических заболеваниях. FMS-подобная тирозинкиназа 3 (FLT3) экспрессируется преимущественно в популяциях гемопоэтических клеток-предшественников как миелоидной, так и лимфоидной линии. При этом экспрессия FLT3 отсутствует в зрелых клетках [1].

Таблица 1. Рецепторные тирозинкиназы семейства PDGFR

РТК	Функция
CSF1R	Рецептор колониестимулирующего фактора 1
FLT3	FMS-подобная тирозинкиназа 3
KIT	Рецептор фактора стволовых клеток
PDGFRA	Рецептор фактора роста тромбоцитов
PDGFRB	Рецептор фактора роста тромбоцитов

Ген FLT3 кодирует белок, состоящий из 993 аминокислот. Киназный домен расположен между аминокислотами 610 и 944 и также включает киназную вставку из 50 аминокислот (рис. 1). Область между трансмембранным доменом, кодируемым 13-м экзоном, и киназным доменом известна как юкстамембранный домен. Внутриклеточный домен заканчивается COOH-концевым хвостом длиной около 50 аминокислот. Внутриклеточные области, включая юкстамембранный и киназный домены, кодируют экзоны 14–23 и отчасти 24. Транскрипцию FLT3 контролирует ряд факторов, часть которых действует как супрессоры [8]. В норме FLT3 активируется FLT3-лигандом (FL) — фактором роста, высвобождаемым фибробластами и гемопоэтическими клетками в микроокружении костного мозга. Взаимодействие FL с FLT3 активирует передачу сигналов через сигнальные пути PI3K, STAT5 и RAS, обеспечивая выживание, дифференцировку и пролиферацию клеток [9].

¹ Компартиментализация — это разграничение путей метаболизма в разных пространственно разделённых участках клетки — компартаментах.

² Онкогенные aberrации — это нарушения в кариотипе (делеция, дупликация, инверсия, транслокация, изохромасома и др.), которые могут привести к неправильному функционированию генома и стать причиной опухолевой трансформации клеток.

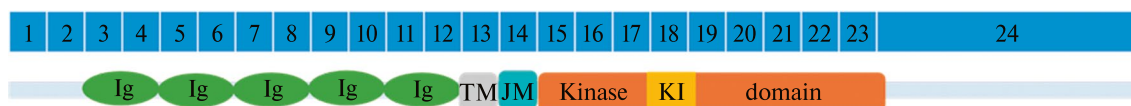


Рис. 1. Структура гена и белка FLT3

Ig — иммуноглобулин-подобный домен; ТМ — трансмембранный домен; JM — юкстамембранный домен; kinase domain — киназный домен; KI — киназная вставка

Экспрессия FLT3 необходима для развития гемопоэтических стволовых клеток и В-клеточных предшественников. В процессе дифференцировки экспрессия увеличивается и достигает наивысшего уровня у пре-В-клеток и колониеобразующих единиц гранулоцитов и макрофагов. В ходе дальнейшей дифференцировки этих клеточных линий экспрессия FLT3 исчезает, за исключением субпопуляции моноцитов. FLT3 обеспечивает регуляцию гомеостаза и развитие дендритных клеток [10]. Кроме того, FLT3 и его лигандный комплекс участвуют в активации естественных клеток-киллеров, опосредованной дендритными клетками. Таким образом, можно предположить, что FLT3 играет важную роль в интеграции механизмов врожденного и приобретенного иммунитета [11].

FLT3 — один из наиболее часто мутирующих генов при остром миелоидном лейкозе, на его долю приходится около 30% случаев заболевания [6]. Большинство aberrаций FLT3 являются вставками в области юкстамембранного домена и представлены в виде внутренних тандемных дупликаций (ITD). Хотя мутации ITD были идентифицированы в более широких пределах, от юкстамембранного домена до киназного, большинство из них сосредоточено на богатом тирозином участке от кодона 589 до кодона 599. Размер дупликации колеблется от 3 до 1236 пар нуклеотидов. При этом специалисты активно обсуждают вопрос о значении размера вставок для биологических особенностей ответа опухоли на химиотерапию [12]. Уровень аллельной нагрузки мутаций FLT3 ITD также исследуется как один из прогностических факторов риска рецидива ОМЛ. Важно отметить, что FLT3 ITD активирует передачу сигналов STAT5, что, в свою очередь, приводит к индукции активных форм кислорода, повреждению ДНК и нарушению репарации [13].

Помимо FLT3 ITD описано несколько точечных мутаций в кодирующей последовательности киназного домена (TKD), которые встречаются гораздо реже, чем ITD. В среднем на долю FLT3 ITD при остром миелоидном лейкозе приходится около 25% рассмотренных случаев, а на мутации FLT3 TKD — 7% [14]. Среди точечных мутаций замены D835X — наиболее частые при ОМЛ. Остаток D835 расположен в петле активации FLT3, и аминокислотные замены (например, наиболее распространенная D835Y, а также D835V, D835H, D835E и D835N) приводят к лиганд-независимой активации FLT3 и индукции клеточной трансформации (рис. 2) [15].

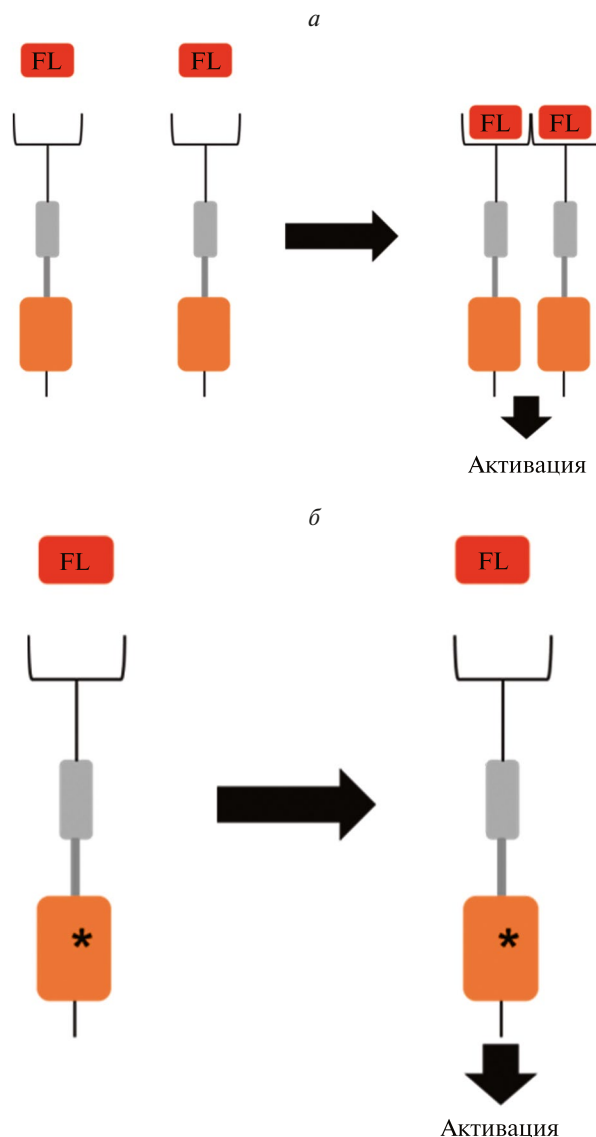


Рис. 2. Лиганд-зависимая (а) и лиганд-независимая (б) активация FLT3

Примечательно, что белок FLT3 дикого типа³ в основном представлен на плазмолемме или вблизи неё, однако мутантный FLT3 демонстрирует изменённый паттерн локализации, вследствие чего возможно инициирование дополнительных сигнальных каскадов. Более того, разные типы aberrантных

³ Белок дикого типа — это нормальная форма белка, не имеющая мутаций.

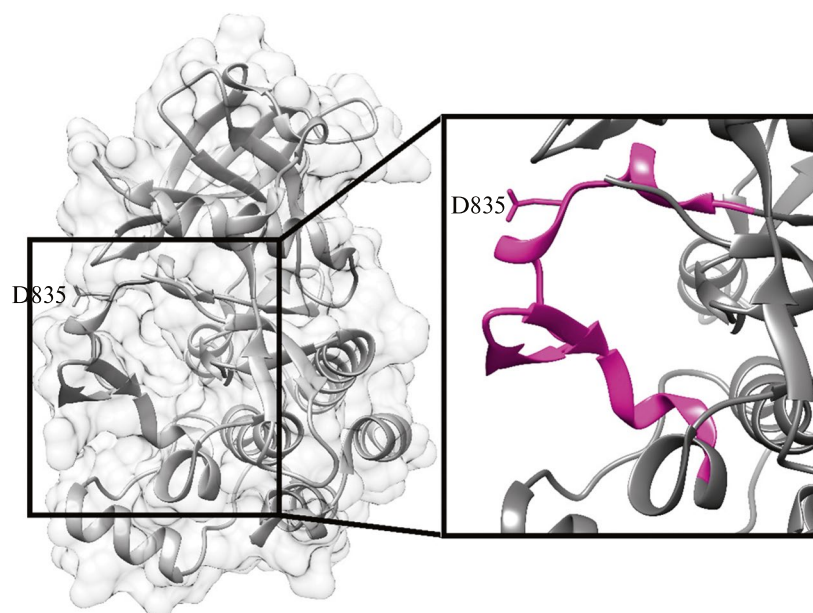


Рис. 3. Структура FMS-подобной тирозинкиназы 3
Розовым цветом выделен участок гибкой активационной петли с остатком D835

FLT3 имеют отличающиеся друг от друга паттерны локализации и проявляют различия в специфичности киназной активности. Следовательно, варианты передачи сигналов от FLT3 ITD и D835Y не идентичны [16]. Так как мутантный FLT3 поддерживает пролиферацию, выживание и трансформацию клеток путём активации ряда сигнальных каскадов, фармакологическое ингибирование этих путей может иметь терапевтическое значение при ОМЛ.

Ингибиторы тирозинкиназ. Поскольку онкогенные aberrации рецепторных тирозинкиназ обычно обнаруживаются при опухолях системы крови и оказывают прогностическое влияние на общую выживаемость пациентов, применение ингибиторов тирозинкиназ (ИТК) перспективно в терапии ОМЛ.

Ингибиторы FLT3 можно классифицировать с использованием двух систем: первое и второе поколения на основе их специфичности и ингибиторы типов I и II в зависимости от механизма их действия. Последние воздействуют на мишень путём конкуренции с АТФ за связывание с киназным доменом. Чувствительность данных ингибиторов определена структурой гибкой активационной петли (рис. 3). ИТК типа II обладают более высокой чувствительностью вследствие особенностей взаимодействия с АТФ-связывающим сайтом киназы посредством воздействия на разные фрагменты DFG-мотива (три аминокислотных остатка) [17]. Ингибиторы типа I активны против мутаций ITD и TKD, в то время как ингибиторы типа II — только при FLT3 ITD (рис. 4) [18].

За последние 10 лет в разработке ингибиторов тирозинкиназ был достигнут значительный про-

гресс, обеспечивший повышение общей выживаемости пациентов с отдельными генетическими вариантами ОМЛ высокого риска. Однако основная проблема при таргетном воздействии на мутации FLT3 с помощью низкомолекулярных ингибиторов — первичная или вторичная устойчивость к ингибиторам тирозинкиназ.

Первичная устойчивость связана с мутациями, присутствующими до начала лечения ингибиторами FLT, что характерно для первично-рефрактерных опухолей [19]. Вторичная резистентность формируется после применения ИТК в результате приобретения вторичных мутаций в киназном домене или активации параллельных сигнальных каскадов [20]. В этом случае воздействие на модуляцию стабильности рецепторов, активацию и передачу сигналов может стать альтернативным решением для преодоления приобретённой резистентности к таргетной терапии FLT3. Использование ингибиторов тирозинкиназ в качестве монотерапии не привело к какому-либо существенному улучшению прогноза пациентов, однако в комбинации с химиотерапией способствовало повышению общей выживаемости при FLT3 ITD-позитивных лейкозах [21].

Мидостаурин — один из наиболее часто применяемых ИТК типа I у пациентов с ОМЛ. В 2017 г. на основании результатов международного исследования RATIFY мидостаурин в комбинации со стандартным протоколом химиотерапии “7+3”⁴ был одобрен

⁴ Схема “7+3” является стандартом индукционной терапии ОМЛ и подразумевает внутривенное введение цитарабина в дозе 100–200 мг/м² в течение 7 дней и даунорубицина в дозе 60 мг/м² в течение 3 дней.

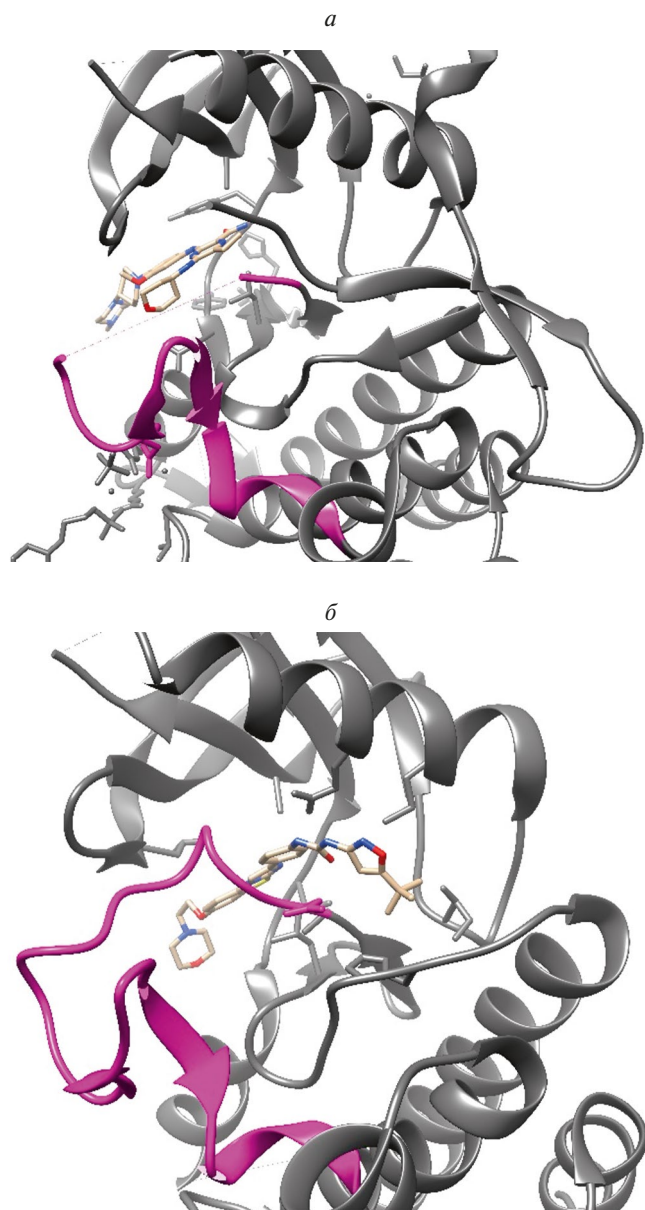


Рис. 4. Ингибитор типа I (Protein Data Bank, ID: 6JQR) (а) и ингибитор типа II, связанные с FMS-подобной тирозинкиназой 3 (Protein Data Bank, ID: 4XUF) (б)
Розовым цветом выделен участок гибкой активационной петли

в качестве терапии первой линии у пациентов с ОМЛ FLT3. Результаты двойного слепого плацебо-контролируемого исследования 717 пациентов с абберациями FLT3 продемонстрировали значительное увеличение общей и бессобытийной выживаемости⁵ больных в группе терапии мидостаурином. Следует отметить, что мультикиназная активность ингибиторов FLT3

⁵ Бессобытийная выживаемость — это время от начала лечения до момента прекращения ремиссии независимо от приведшей к ней причины.

первого поколения в отношении нескольких точек приложения приводит к некоторым нецелевым эффектам. Так, у пациентов, принимавших мидостаурин, чаще наблюдались побочные эффекты по сравнению с группой плацебо [22].

Наш опыт применения ИТК при остром миелоидном лейкозе в Свердловском областном гематологическом центре совпал с пандемией новой коронавирусной инфекции 2020–2023 гг. Было проанализировано 58 случаев заболевания у взрослых моложе 60 лет и 79 — в возрасте 60 лет и старше, проходивших лечение в этот период. Все больные на этапе диагностики прошли иммунофенотипирование, цитогенетический анализ, ПЦР-детекцию транскриптов химерных генов, а также мутаций FLT3 D835 и FLT3-ITD методом фрагментного анализа. Генодиагностика и иммунофенотипирование ОМЛ проводились за счёт средств Территориальной программы государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи в Свердловской области [5, 17].

Частота выявления мутаций FLT3 ITD у пациентов моложе 60 лет составила 19%, FLT3 D835 — 6.9%; в группе пожилого и старческого возраста — 17.7 и 5.1% соответственно. Уровень аллельной нагрузки FLT3 ITD — в среднем 0.5 (диапазон от 0.09 до 1). Инфекция COVID-19 у молодых пациентов с FLT3-позитивным ОМЛ выявлена в 12 случаях, в том числе у 8 человек — непосредственно на этапе диагностики либо индукционной химиотерапии, у 4 — через 2 месяца и более после начала лечения лейкоза. COVID-19 выявлен у 7 больных старше 60 лет с FLT3-позитивным ОМЛ, из них у 4 — на этапе диагностики и по одному — через 1, 2 и 4 месяца после диагностики. При этом средняя частота выявления COVID-19 в подгруппах FLT3-негативных и FLT3-позитивных ОМЛ статистически не отличалась. Схемы, включающие таргетный ингибитор мидостаурин у больных молодого и зрелого возраста с мутациями FLT3, использовались в 7 случаях, при этом все указанные пациенты перенесли COVID-19 на различных этапах лечения, в основном в фазу индукции-консолидации ремиссии острого миелоидного лейкоза (5 наблюдений). Среди больных пожилого и старческого возраста схемы с мидостаурином также использовались в 7 случаях, из которых у 5 человек положительные результаты ПЦР на SARS-CoV-2 отсутствовали на всём протяжении лечения, у одного больного вирус выявлен на этапе диагностики, ещё у одного — через месяц от начала лечения. Таким образом, при сопоставимых выборках у молодых с ОМЛ инфекция COVID-19 фиксировалась достоверно чаще, чем у пациентов пожилого и старческого возраста ($F=0.01$, $p<0.05$).

Результаты применения мидостаурина-содержащих схем при FLT3-ITD-позитивных ОМЛ у пожилых были следующими. В одном случае произошёл летальный исход на этапе индукции ремиссии,

у 4 пациентов диагностирована резистентность к проводимой терапии и выполнен перевод на паллиативное лечение, у одного достигнута стойкая продолжительная ремиссия в 18 месяцев, ещё у одного выявлен ранний рецидив. В группе взрослых моложе 60 лет, получавших мидостаурин, показатели значительно превосходили старшую возрастную группу. В 5 случаях была достигнута стойкая ремиссия средней продолжительностью 13.6 месяцев, в двух — зафиксированы летальные исходы на этапе индукции-консолидации ремиссии (оба были связаны с новой коронавирусной инфекцией).

Острый миелоидный лейкоз как гетерогенное заболевание требует персонализированного подхода к каждому пациенту с учётом множества факторов: возраст и коморбидность⁶, данные о кариотипе и молекулярно-генетических аномалиях. Эти факторы позволяют определить прогностический потенциал и соответствующую ему тактику лечения, будь то стандартная химиотерапия, аллогенная трансплантация гемопоэтических стволовых клеток или же применение таргетных лекарственных препаратов [23].

С тех пор как были открыты рецепторная киназа FLT3 и её перестройки, значительно расширились знания о биологической роли мутаций FLT3. Понимание механизмов передачи сигналов FLT3 в физиологических условиях и трансформирующих свойств его онкогенных мутаций раскрыли новые механизмы патогенеза миелоидного лейкоза и позволили разработать инновационные методики лечения. Включение ингибиторов тирозинкиназ, в частности мидостаурина, в клинические рекомендации по терапии этого заболевания оказало значимое влияние на долгосрочные показатели выживаемости [24]. Несмотря на снятие эпидемических ограничений в связи с COVID-19, всё ещё присутствует риск различных инфекционных заболеваний, что может отражаться на результатах терапии и приводить к осложнениям и летальным исходам. Персонализация химиотерапевтических стратегий с учётом результатов генотипирования и применение таргетных лекарственных препаратов позволяют управлять рисками ранней летальности на этапе достижения ремиссии ОМЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kazi J.U., Rönstrand L. FMS-like Tyrosine Kinase 3/FLT3: From Basic Science to Clinical Implications // *Physiol. Rev.* 2019, vol. 99, no. 3, pp. 1433–1466.
2. Vinogradov A.V., Rezaykin A.V., Litvinova D.V. et al. Pathogenetic value of TP53 point mutations in adult acute myeloid leukemia patients // *Russ. J. Immunol.* 2020, vol. 23, no. 2, pp. 195–202.
3. Vinogradov A.V., Litvinova D.V., Rezaykin A.V. et al. Детекция точечных мутаций в гене ASXL1 при гемобластозах методом прямого автоматического секвенирования // *Уральский медицинский журнал.* 2020. № 185. С. 11–14.
4. Grafone T., Palmisano M., Nicci C. et al. An overview on the role of FLT3-tyrosine kinase receptor in acute myeloid leukemia: Biology and treatment // *Oncol. Rev.* 2012, vol. 6, no. 1, pp. 64–74.
5. Vinogradov A.V., Litvinova D.V., Konstantinova T.S. et al. Experience with High-Throughput Sequencing, Bone Marrow Transplantation and Targeted Therapy for Acute Myeloid Leukemia with a Poor Prognosis // *Med. News North Caucasus.* 2022, vol. 17, no. 2, pp. 208–211.
6. Burchert A. Maintenance therapy for FLT3-ITD-mutated acute myeloid leukemia // *Haematologica.* 2021, vol. 106, no. 3, pp. 664–670.
7. Robinson D.R., Wu Y.M., Lin S.F. The protein tyrosine kinase family of the human genome // *Oncogene.* 2000, vol. 19, no. 49, pp. 5548–5557.
8. Kato T., Sakata-Yanagimoto M., Nishikii H. et al. Hes1 suppresses acute myeloid leukemia development through FLT3 repression // *Leukemia.* 2015, vol. 29, no. 3, pp. 576–585.
9. Daver N., Schlenk R.F., Russell N.H. et al. Targeting FLT3 mutations in AML: review of current knowledge and evidence // *Leukemia.* 2019, vol. 33, no. 2, pp. 299–312.
10. Liu K., Vitorica G.D., Schwickert T.A. et al. In vivo analysis of dendritic cell development and homeostasis // *Science.* 2009, vol. 324, no. 5925, pp. 392–397.
11. Eidenschenk C., Crozat K., Krebs P. et al. FLT3 permits survival during infection by rendering dendritic cells competent to activate NK cells // *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2010, vol. 107, no. 21, pp. 9759–9764.
12. Liu S.B., Dong H.J., Bao X.B. et al. Impact of FLT3-ITD length on prognosis of acute myeloid leukemia // *Haematologica.* 2019, vol. 104, no. 1, pp. e9–e12.
13. Chen Y., Zou Z., Găman M.A. et al. NADPH oxidase mediated oxidative stress signaling in FLT3-ITD acute myeloid leukemia // *Cell Death Discov.* 2023, vol. 9, no. 1, 208.
14. Kennedy V.E., Smith C.C. FLT3 Mutations in Acute Myeloid Leukemia: Key Concepts and Emerging Controversies // *Front. Oncol.* 2020, vol. 10, 612880.
15. Acharya B., Saha D., Armstrong D. et al. FLT3 inhibitors for acute myeloid leukemia: successes, defeats, and emerging paradigms // *RSC Med. Chem.* 2022, vol. 13, no. 7, pp. 798–816.

⁶ Коморбидность — наличие у пациента двух или более заболеваний или синдромов, связанных между собой единым патогенетическим механизмом или совпадающих по времени.

16. Qiu Y., Li Y., Chai M. et al. The GSK3 β /Mcl-1 axis is regulated by both FLT3-ITD and Axl and determines the apoptosis induction abilities of FLT3-ITD inhibitors // *Cell Death Discov.* 2023, vol. 9, no. 1, 44.
17. Виноградов А.В., Литвинова Д.В., Хамидулина Л.А., Сазонов С.В. Моделирование чувствительности FLT3-позитивных острых миелоидных лейкозов взрослых к ингибиторам тирозинкиназ // *Гематология и трансфузиология.* 2022. № 2. С. 171–172.
Vinogradov A.V., Litvinova D.V., Khamidullina L.A., Sazonov S.V. Modeling of sensitivity of FLT3-positive adult acute myeloid leukemias to tyrosine kinase inhibitors // *Hematology and Transfusiology.* 2022, no. 2, pp. 171–172. (In Russ.)
18. Larrosa-García M., Baer M.R. FLT3 Inhibitors in Acute Myeloid Leukemia: Current Status and Future Directions // *Mol. Cancer Ther.* 2017, vol. 16, no. 6, pp. 991–1001.
19. Alotaibi A.S., Yilmaz M., Kanagal-Shamanna R. et al. Patterns of Resistance Differ in Patients with Acute Myeloid Leukemia Treated with Type I versus Type II FLT3 Inhibitors // *Blood Cancer Discov.* 2021, vol. 2, no. 2, pp. 125–134.
20. Staudt D., Murray H.C., McLachlan T. et al. Targeting oncogenic signaling in mutant FLT3 acute myeloid leukemia: The path to least resistance // *Int. J. Mol. Sci.* 2018, vol. 19, no. 10, 3198.
21. Xuan L., Wang Y., Huang F. et al. Effect of sorafenib on the outcomes of patients with FLT3-ITD acute myeloid leukemia undergoing allogeneic hematopoietic stem cell transplantation // *Cancer.* 2018, vol. 124, no. 9, pp. 1954–1963.
22. Stone R.M., Mandrekar S.J., Sanford B.L. et al. Midostaurin plus Chemotherapy for Acute Myeloid Leukemia with a FLT3 Mutation // *N. Engl. J. Med.* 2017, vol. 377, no. 5, pp. 454–464.
23. Döhner H., Wei A.H., Appelbaum F.R. et al. Diagnosis and management of AML in adults: 2022 recommendations from an international expert panel on behalf of the ELN // *Blood.* 2022, vol. 140, no. 12, pp. 1345–1377.
24. Fedorov K., Maiti A., Konopleva M. Targeting FLT3 Mutation in Acute Myeloid Leukemia: Current Strategies and Future Directions // *Cancers (Basel).* 2023, vol. 15, no 8, 2312.

PERSONALIZED STRATEGIES FOR THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF ACUTE MYELOID LEUKEMIA IN PATIENTS OF DIFFERENT AGES IN THE CONTEXT OF A GLOBAL INFECTIOUS THREAT

A.V. Vinogradov^{a,b,*}, D.V. Lastochkina^{c,}, L.A. Khamidullina^{d,e,***}, I.S. Puzyrev^{d,****},
S.V. Sazonov^{a,f,*****}**

^a*Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia*

^b*Sverdlovsk Regional Clinical Hospital no. 1, Yekaterinburg, Russia*

^c*Russian Scientific Research Institute of Hematology and Transfusiology, FMBA of Russia, Saint Petersburg, Russia*

^d*Postovsky Institute of Organic Synthesis, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia*

^e*Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia*

^f*Institute of Medical Cell Technologies, Yekaterinburg, Russia*

*E-mail: a.vinogradov@egov66.ru

**E-mail: litvinova-dasha174@mail.ru

***E-mail: khamidullina@ios.uran.ru

****E-mail: puzyrev@ios.uran.ru

*****E-mail: prof-ssazonov@yandex.ru

As part of the implementation of the national project “Fight against oncological diseases”, modern anti-tumor drugs of targeted action are being actively introduced into the healthcare system of the Russian Federation. The use of FMS-like tyrosine kinase 3 (FLT3) inhibitors in programmatic polychemotherapy of acute myeloid leukemias, based on genetic stratification, proved effective despite the epidemic risks caused by the pandemic of the COVID-19. In the context of the structural restructuring of healthcare due to the global infectious threat, the research data is discussed from the point of view of the transition to personalized medical services, which are provided at the expense of compulsory medical insurance.

Keywords: acute myeloid leukemia, FLT3 gene, tyrosine kinase inhibitor, novel coronavirus infection.

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

АНАЛИЗ ОБЪЁМОВ РЕАЛИЗАЦИИ МЕР СОЦИАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2025 г. О.В. Ходакова^{а,*}, А.А. Латышова^{а,**}, И.А. Соломатников^{а,***}

^аЦентральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения
Минздрава России, Москва, Россия

*E-mail: khodakovaov@mednet.ru

**E-mail: Lat-Alla75@mail.ru

***E-mail: solomatnikovia@mednet.ru

Поступила в редакцию 01.10.2024 г.

После доработки 14.12.2024 г.

Принята к публикации 17.02.2025 г.

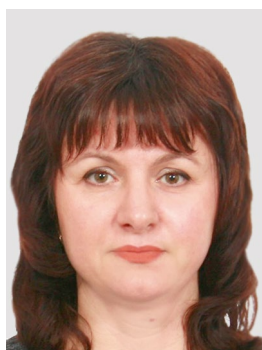
В статье анализируются объёмы реализации мер социальной поддержки медицинских работников в России за 2022–2023 гг. и их влияние на обеспеченность населения врачебным и средним медицинским персоналом. Определены наиболее эффективные меры социальной поддержки медицинских работников. Показатели демонстрируют положительные тренды и их вариабельность в разных субъектах РФ, а также в зависимости от категории медицинских работников. Статистически значимой зависимости между объёмом реализуемых мер и обеспеченностью врачебным и средним медицинским персоналом не установлено, что требует проведения дальнейших исследований с учётом особенностей субъектов и условий оказания медицинской помощи.

Ключевые слова: врачи, средний медицинский персонал, меры социальной поддержки медицинских работников.

DOI: 10.31857/S0869587325030059, **EDN:** CUABWR

Эффективность системы здравоохранения зависит от её полноценного обеспечения квалифицированными кадрами, поэтому данному вопросу уделяется особое внимание на всех уровнях государственного управления. В течение последних лет нагрузка на систему здравоохранения увеличилась в связи с повышением потребности в медицинской помощи лиц пожилого и старческого возраста (около 24% в структуре населения), изменением уровня

и структуры заболеваемости, расширением объёма профилактических мероприятий [1, 2]. В сложившихся условиях решение задач, направленных на привлечение работников и сохранение кадрового потенциала медицинских организаций, становится одним из приоритетов в системе государственного здравоохранения [3, 4]. Целевая социальная поддержка представляет собой механизм удержания медиков в профессии. Комплекс мероприятий,



ХОДАКОВА Ольга Владимировна — доктор медицинских наук, начальник отдела научных основ организации здравоохранения ЦНИИОИЗ Минздрава России. ЛАТЫШОВА Алла Анатольевна — кандидат медицинских наук, заместитель начальника управления статистики по методической работе ЦНИИОИЗ Минздрава России. СОЛОМАТНИКОВ Иван Алексеевич — руководитель аналитического блока, главный специалист организационного отдела ЦНИИОИЗ Минздрава России.

направленных на реализацию мер социальной поддержки, ежегодно дорабатывается и расширяется. Нормативная правовая регламентация осуществляется на федеральном и региональном уровнях и определяет обязательные и дополнительные меры поддержки (материальные и нематериальные) врачебного и среднего медицинского персонала [5–10].

Федеральное законодательство предоставляет широкий комплекс мер социальной поддержки отдельных категорий медицинского персонала, в частности:

- медицинских и фармацевтических работников, проживающих и работающих по трудовому договору в сельских населённых пунктах, рабочих посёлках, посёлках городского типа (постановление Правительства РФ № 1607 от 30 декабря 2014 г.);
- врачей, фельдшеров, акушеров и медицинских сестёр (братьев) фельдшерских здравпунктов и фельдшерско-акушерских пунктов, врачебных амбулаторий, центров (отделений) общей врачебной практики (семейной медицины), прибывших (переехавших) на работу в сельские населённые пункты, рабочие посёлки, посёлки городского типа или города с населением до 50 тыс. человек (постановление Правительства РФ № 1640 от 26 декабря 2017 г.);
- медицинских работников, впервые назначивших консультацию врача-специалиста, диагностические инструментальные и (или) лабораторные исследования на выявление онкологического заболевания (постановление Правительства РФ № 1940 от 30 декабря 2019 г.);
- медицинских работников первичного звена здравоохранения, центральных районных больниц, районных и участковых станций (отделений) скорой медицинской помощи (постановление Правительства РФ № 2568 от 31 декабря 2022 г.);
- отдельных категорий медицинских работников медицинских (военно-медицинских) подразделений, воинских частей и организаций Вооружённых сил Российской Федерации (постановление Правительства РФ № 738 от 11 мая 2023 г.) и др.

Важный компонент системы социальной поддержки врачебного и среднего медицинского персонала — комплекс мероприятий, который разрабатывается и утверждается на уровне субъектов РФ и призван дополнить и детализировать меры социальной защиты с учётом потребностей специалистов конкретного региона. Создание оптимальных условий для привлечения (и удержания) кадров в медицинские организации того или иного региона должно стать неотъемлемой частью стратегии развития региональных систем здравоохранения в области кадровой политики и развития человеческого капитала. С этой целью были проанализированы объёмы реализации мер социальной поддержки медицинских работников, в том числе в разрезе субъектов РФ, за период 2022–2023 гг. и их влияние на обеспеченность врачебным и средним медицинским персоналом.

Материалы и методы. Использовались данные оперативного мониторинга “Оценка эффективности кадровой обеспеченности медицинских организаций субъектов Российской Федерации” (сбор осуществлялся с помощью автоматизированной системы мониторинга медицинской статистики “АСММС”) и данных федеральной формы статистического наблюдения № 30 “Сведения о медицинской организации” в субъектах РФ за 2022–2023 гг. Форма мониторинга предусматривала наличие сведений о количестве получателей отдельных мер социальной поддержки среди врачей и среднего медицинского персонала за отчётный период (год). В мониторинге не участвовали Москва, Донецкая и Луганская Народные Республики, Херсонская и Запорожская области. Применялись аналитический и статистический методы исследования.

Для объективного сопоставления объёма реализуемых мер социальной поддержки использовалась методика расчёта интенсивного показателя как соотношения абсолютного числа получателей поддержки на 10 тыс. медицинских работников соответствующей категории из числа врачебного (I_v) и среднего медицинского персонала (I_s) для каждого субъекта РФ:

$$I_v = \frac{\text{Количество врачей — получателей отдельной меры социальной поддержки}}{\text{Численность врачей на конец отчётного года}} \times 10000$$

$$I_s = \frac{\text{Количество среднего медперсонала — получателей отдельной меры социальной поддержки}}{\text{Численность среднего медицинского персонала на конец отчётного года}} \times 10000$$

Влияние мер социальной поддержки на обеспеченность врачебным и средним медицинским персоналом оценивалось путём расчёта коэффициента корреляции Пирсона как отношение между ковариацией двух переменных и произведением их стандартных отклонений при уровне безошибочного прогноза 95% ($p \leq 0.05$).

Результаты исследования. За 2022–2023 гг. обеспеченность системы государственного здравоохранения России врачебными кадрами увеличилась на 1.4%, что соответствует уровню 2019 г. Укомплектованность штатных должностей (врачи) выросла на 2.8 п.п. при коэффициенте совместительства 1.4. Обеспеченность средним медицинским персоналом

лом в 2023 г. на 0.6% ниже по сравнению с 2022 г. Укомплектованность штатных должностей за 2022–2023 гг. возросла на 1.8 п.п. при коэффициенте совместительства 1.3. В субъектах РФ и федеральных округах показатели обеспеченности врачебным и средним медицинским персоналом и укомплектованности штатных должностей различались, что побудило авторов выдвинуть гипотезу о влиянии на них мер социальной поддержки.

Один из факторов, определяющих выбор места работы, — обеспечение жильём. В соответствии с распоряжением Правительства РФ № 614-р от 15 апреля 2013 г. Минздравом России был составлен перечень основных и дополнительных мер социальной поддержки медицинских работников, которые могут быть реализованы на уровне субъектов. Он включает мероприятия, направленные на решение таких жилищных вопросов, как компенсация расходов на жилищно-коммунальные услуги и аренду жилого помещения, предоставление служебного жилья, жилья по договору социального найма, земельного участка, льготное ипотечное кредитование и приватизация служебного жилья.

Согласно результатам анализа, в субъектах РФ суммарное количество мер социальной поддержки врачебного и среднего медицинского персонала заметно различается. Комплекс мероприятий, нацеленный на врачей, включает в среднем от четырёх до шести позиций, а для среднего медицинского персонала — от трёх до пяти. Наибольший перечень мер поддержки врачей (семь-восемь) зарегистрирован в 2023 г. в Самарской, Ростовской, Тюменской, Свердловской, Кемеровской, Белгородской и Архангельской областях, а также в Краснодарском и Красноярском краях. Комплекс социальных мероприятий для среднего медицинского персонала максимально полно представлен в Самарской, Ульяновской, Тюменской, Свердловской, Вологодской областях, Краснодарском и Приморском краях (табл. 1).

Самая распространённая мера социальной поддержки — компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг (70 регионов). В 2023 г. ею было охвачено 85 тыс. врачей и 325 тыс. среднего медицинского персонала. Регионами-лидерами стали Республика Башкортостан (9 994.1 на 10 тыс. среднего медицинского персонала) и Республика Крым (8 077.4 на 10 тыс. врачей). Сравнительный анализ показал, что в 2023 г. количество субъектов РФ, компенсирующих расходы на оплату жилищно-коммунальных услуг, уменьшилось по сравнению с 2022 г. (табл. 2). Для оценки объёма реализации данной меры были рассчитаны интенсивные показатели (I_v и I_s) на 10 тыс. специалистов обеих категорий. С 2022 по 2023 г. значение I_v увеличилось с 955.6 до 2094.5 на 10 тыс. человек (на 119.2%), а I_s — с 1409.4 до 3800.7 на 10 тыс. человек (на 169.7%). Это говорит о высокой востребованности компенсации расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг среди медицинских работников.

Компенсация расходов на аренду жилого помещения занимает второе место в комплексе мер социальной поддержки. В 2023 г. помощь получили более 34 тыс. врачей и 34 тыс. среднего медицинского персонала. Лидером стала Московская область: 6 038.7 и 5 354.5 на 10 тыс. человек соответственно. В целом количество субъектов РФ, предоставивших компенсацию на аренду в 2023 г., увеличилось по сравнению с 2022 г.: для врачей — с 69 до 70 субъектов, для среднего медицинского персонала — с 57 до 60. Таким образом, аренду жилого помещения врачам компенсируют 78.6% субъектов, среднему медицинскому персоналу — 67.4% (табл. 3). Частота реализации данной меры (I_v и I_s) в 2023 г. кратно увеличилась по сравнению с 2022 г.: показатель I_v составил 819.4 на 10 тыс. человек, что в 3.2 раза выше, чем в 2022 г. (256.3), I_s — 407.8 на 10 тыс. человек, что в 4.6 раза выше расчётного значения 2022 г. (86.9).

Таблица 1. Меры социальной поддержки врачебного и среднего медицинского персонала в субъектах РФ в 2023 г., абс. число

Количество мер*	Количество субъектов, реализующих меры социальной поддержки	
	врачей	среднего медицинского персонала
1	5	8
2	5	6
3	8	17
4	15	15
5	20	16
6	16	8
7	6	4
8	3	3

Примечание: *В соответствии с распоряжением Правительства РФ № 614-р от 15 апреля 2013 г.

Таблица 2. Компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг, абс. число

Категория медицинских работников	Количество субъектов	
	2022	2023
Средний медицинский персонал	77	67
Врачи	75	70

Таблица 3. Компенсация расходов на аренду жилья, абс. число

Категория медицинских работников	Количество субъектов	
	2022	2023
Средний медицинский персонал	57	60
Врачи	69	70

На третьем месте для врачей находится безвозмездное предоставление земельного участка. В 2023 г. получателями стали более 2.4 тыс. специалистов, при этом лидером как по абсолютному значению, так и по величине показателя стала Московская область: 2294 участка, *Iv* – 890.9 на 10 тыс. человек.

На третьем месте для среднего медицинского персонала – предоставление детям в первоочередном порядке мест в дошкольных образовательных организациях. Согласно результатам мониторинга, в 2023 г. поддержку получили более 2.5 тыс. работников. Лидеры – Краснодарский край и Республика Чувашия. Обращает на себя внимание тот факт, что в 2023 г. общее количество субъектов РФ, реализующих меры социальной поддержки по безвозмездному предоставлению земельного участка для строительства или приобретения жилья, а также по предоставлению детям мест в дошкольных образовательных организациях, уменьшилось по сравнению с 2022 г. (табл. 4, 5).

Из таблицы 6 видно, что в 2023 г. увеличилась частота реализации мер социальной поддержки, занимающих третье место для врачебного и среднего медицинского персонала. Наблюдается кратный рост безвозмездного предоставления земельного участка для строительства или приобретения жилья врачам (с 8.4 до 218.4 на 10 тыс. человек) и предоставления детям среднего медицинского персонала мест в дошкольных образовательных организациях (с 9.5 до 52.4 на 10 тыс. человек).

Проведён анализ обеспеченности субъектов РФ врачебным и средним медицинским персоналом с целью проверки гипотезы о влиянии на этот показатель мер социальной поддержки. Рассчитан коэффициент корреляции Пирсона между значением обеспеченности специалистами и частотой мер социальной поддержки в том или ином регионе как отношение между ковариацией двух переменных и произведением их стандартных отклонений при уровне безошибочного прогноза 95% ($p \leq 0.05$).

Таблица 4. Безвозмездное предоставление земельного участка для строительства или приобретения жилья, абс. число

Категория медицинских работников	Количество субъектов	
	2022	2023
Средний медицинский персонал	14	8
Врачи	18	13

Таблица 5. Предоставление детям в первоочередном порядке мест в дошкольных образовательных организациях, абс. число

Категория медицинских работников	Количество субъектов	
	2022	2023
Средний медицинский персонал	35	32
Врачи	42	40

Таблица 6. Частота реализации субъектами РФ отдельных мер социальной поддержки врачей и среднего медицинского персонала в 2022–2023 гг., на 10 тыс. человек

Мера социальной поддержки	Врачи (<i>Iv</i>)		Средний медицинский персонал (<i>Is</i>)	
	2022	2023	2022	2023
Компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг	955.6	2094.5	1409.4	3800.7
Предоставление служебного жилья	77.4	102.4	10.4	13.8
Компенсация расходов на аренду жилого помещения	256.3	819.4	86.9	407.8
Предоставление детям медицинских работников в первоочередном порядке мест в дошкольных образовательных организациях	29	84	9.5	52.4
Предоставление жилых помещений людям из числа нуждающихся в улучшении жилищных условий по договору социального найма	11.6	38.1	3.1	11.3
Предоставление льготного ипотечного кредита	29.5	58.3	10.9	44.2
Предоставление места в общежитии	29.5	6.2	12.1	17.9
Безвозмездное предоставление земельного участка для строительства/приобретения жилья	8.4	218.3	3.4	7.1
Приватизация служебного жилья с возможностью передачи его в собственность после 10 лет работы	2.4	0	1	0

Все субъекты были распределены в три условные группы с учётом фактической обеспеченности кадрами:

- первая группа (I) — 35 субъектов с высокой обеспеченностью от 63.3 до 39 на 10 тыс. населения;
- вторая группа (II) — 40 субъектов со средней обеспеченностью от 38.9 до 30 на 10 тыс. населения;
- третья группа (III) — 10 субъектов с наименьшей обеспеченностью от 29.9 до 25.4 на 10 тыс. населения.

Расчётные коэффициенты корреляции Пирсона для каждой группы представлены в таблице 7. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии статистически значимой зависимости между объёмами реализуемых мер социальной поддержки врачей в субъектах РФ и уровнем обеспеченности специалистами на 10 тыс. населения.

По обеспеченности средним медицинским персоналом субъекты были распределены по следующим группам:

- первая группа (I) — 36 субъектов с высокой обеспеченностью от 140.7 до 90 на 10 тыс. населения;
- вторая группа (II) — 39 субъектов со средней обеспеченностью от 89.9 до 70 на 10 тыс. населения;
- третья группа (III) — 10 субъектов с наименьшей обеспеченностью от 69.9 до 55.8 на 10 тыс. населения.

Коэффициенты корреляции Пирсона указывают на отсутствие статистически значимой зависимости между объёмом реализуемых мер социальной поддержки для среднего медицинского персонала в субъектах и уровнем обеспеченности такими работниками (табл. 8). Полученные результаты коррелируют с данными более раннего исследования о влиянии мер социальной поддержки на показатели

Таблица 7. Коэффициент корреляции Пирсона между уровнем реализации отдельных мер социальной поддержки врачей и показателем обеспеченности врачами на 10 тыс. населения в 2023 г.

Основные меры социальной поддержки	Коэффициент корреляции Пирсона			<i>p</i>		
	I	II	III	I	II	III
Количество реализуемых в регионе мер	−0.07	−0.31	0.24	0	0	0
Компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг	−0.19	−0.01	−0.16	0	0	0.01
Компенсация расходов на аренду жилого помещения	0.63	−0.38	0.19	0.01	0	0.02

Таблица 8. Коэффициент корреляции Пирсона между объёмом реализации отдельных мер социальной поддержки среднего медицинского персонала и обеспеченностью специалистами на 10 тыс. населения в 2023 г.

Основные меры социальной поддержки среднего медицинского персонала в субъектах РФ	Коэффициент корреляции Пирсона			<i>p</i>		
	I	II	III	I	II	III
Количество мер	0.21	−0.05	0.23	0	0	0
Компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг	0.13	0.12	0.53	0	0	0.02
Компенсация расходов на аренду жилого помещения	0.37	−0.19	−0.44	0.06	0	0.07

обеспеченности медицинскими работниками, в том числе с использованием индексного метода [5].

В России в период 2022–2023 гг. были выявлены положительные тенденции в реализации мер социальной поддержки врачебного и среднего медицинского персонала на 10 тыс. человек из соответствующей категории. Этот показатель существенно различается в субъектах, а также по категориям специалистов. Не установлено статистически значимой зависимости между объёмом мер поддержки и обеспеченностью врачебным и средним медицинским персоналом, что говорит о необходимости поиска дополнительных факторов, влияющих на привлечение и удержание кадров, с учётом особенностей субъектов и условий оказания медицинской помощи. Полученные результаты могут быть полезны при разработке и реализации научно обоснованной кадровой политики в здравоохранении на уровне конкретных субъектов РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Капитонов В.Ф., Субботина Н.Л.* Динамика состояния здоровья и индекс обращаемости за амбулаторно-поликлинической помощью городского населения старшего нетрудоспособного возраста за 2011–2020 гг. // Социальные аспекты здоровья населения. 2022. № 4 (68). DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-4-7
Kapitonov V.F., Subbotina N.L. Dynamics in health status of urban population of the older retirement age and incidence rate of their outpatient visits in 2011–2020 // Social aspects of Population Health. 2022, no. 4 (68). (In Russ.)

2. *Канорский С.Г., Исаенко С.И., Терзиева Е.Д.* Общая характеристика здоровья населения старше трудоспособного возраста (на примере Краснодарского края) // Национальное здоровье. 2017. № 1–2. С. 87–94.
Kanorskiy S.G., Isaenko S.I., Terzieva E.D. General characteristics of population health over the age of a sustainable age (on the example of the Krasnodar Territory) // National Health. 2017, no. 1–2, pp. 87–94. (In Russ.)

3. *Латышова А.А., Иванова М.А.* Динамика обеспеченности врачебными кадрами в государственных медицинских организациях Российской Федерации в период с 2018 по 2022 год // Социальные аспекты здоровья населения. 2023. № 6 (69). DOI: 10.21045/2071-5021-2023-69-6-11
Latyshova A.A., Ivanova M.A. Dynamics in the number of doctors in public medical organizations of the Russian Federation in 2018–2022 // Social aspects of Population Health. 2023, no. 6 (69). (In Russ.)

4. *Кацова Г.Б., Малеева Н.П., Попова Л.В., Дмитриева М.К.* Проблема кадрового дефицита средних медицинских работников в учреждениях здравоохранения // Евразийское пространство: экономика, право, общество. 2024. № 2. С. 14–16.
Katsova G.B., Maleeva N.P., Popova L.V., Dmitrieva M.K. The problem of personnel shortage of nursing medical workers in healthcare institutions // Eurasian space: economics, law, society. 2024, no. 2, pp. 14–16. (In Russ.)

5. *Ходакова О.В., Руголь Л.В., Соломатников И.А. и др.* Влияние мер социальной поддержки на обеспечение региональных систем здравоохранения кадрами // Вестник РАН. 2023. № 5. С. 462–469.
Khodakova O.V., Rugol L.V., Solomatnikov I.A. et al. The impact of social support measures on the provision of regional health systems with human resources // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2023, no. 5, pp. 462–469. (In Russ.)

6. *Шалберкина М.Н.* О проблемах реализации мер социальной поддержки медицинских работников в период пандемии COVID-19 // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). 2021. № 8 (84). С. 136–145.
Shalberkina M.N. On the problems of implementing measures of social support for health workers during the COVID-19 pandemic // Courier of Kutafin Moscow State Law University (MSAL). 2021, no. 8 (84), pp. 136–145. (In Russ.)

7. *Ляпунова К.Н.* Меры социальной поддержки работников в медицинской сфере Республики Башкортостан // Актуальные и перспективные научные исследования: сборник статей II Международной

- научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение, 2024. С. 145–149.
- Lyapunova K.N.* Measures of social support for workers in the medical field of the Republic of Bashkortostan // Current and promising scientific research: collection of articles of the II International Scientific and Practical Conference. Penza: Science and Education, 2024. Pp. 145–149. (In Russ.)
8. *Сергеенко Ю.С.* Социальная поддержка медицинских работников: некоторые проблемы теории и практики // Право и государство: теория и практика. 2022. № 3 (207). С. 190–192.
- Sergeenko Yu.S.* Social support of medical workers: some problems of theory and practice // Law and the State: theory and practice. 2022, no. 3 (207), pp. 190–192. (In Russ.)
9. *Расторгуева Т.И., Карпова О.Б.* Социальная поддержка медицинских работников — путь к решению кадровых проблем современного здравоохранения // Российская академия медицинских наук. Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья. 2013. № S1. С. 169–171.
- Rastorgueva T.I., Karpova O.B.* Social support for medical workers as a way to solve the personnel problems of modern healthcare // Russian Academy of Medical Sciences. Bulletin of Semashko National Research Institute of Public Health. 2013, no. S1, pp. 169–171. (In Russ.)
10. *Макаров С.В., Гайдаров Г.М.* Оценка мер социальной поддержки медицинских работников Иркутской области, заявленных в официальных предложениях об их трудоустройстве // Социальные аспекты здоровья населения. 2021. № 1 (67). DOI: 10.21045/2071-5021-2021-67-1-5
- Makarov S.V., Gaidarov G.M.* Assessment of social support measures of medical workers in the Irkutsk region, stated in official proposals for their employment // Social aspects of Population Health. 2021, no. 1 (67). (In Russ.)

ANALYSIS OF THE VOLUMES OF IMPLEMENTATION OF SOCIAL SUPPORT MEASURES FOR MEDICAL WORKERS IN THE RUSSIAN FEDERATION

O.V. Khodakova^{a,*}, A.A. Latyshova^{a,**}, I.A. Solomatnikov^{a,***}

^a*Central Scientific Research Institute for Organization and Informatization of Healthcare of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia*

^{*}*E-mail: khodakovaov@mednet.ru*

^{**}*E-mail: Lat-Alla75@mail.ru*

^{***}*E-mail: solomatnikovia@mednet.ru*

The article provides an analysis of the volume of implementation of social support measures for medical workers in Russia for 2022–2023 and their impact on the provision of medical and secondary medical personnel to the population. The most effective social support measures have been identified. The indicators demonstrate positive trends and variability in different regions of the Russian Federation, as well as depending on the category of medical workers. There is no statistically significant relationship between the volume of measures implemented and the availability of medical and secondary medical personnel, which requires further research, taking into account the specifics of the subjects and conditions of medical care.

Keywords: doctors, mid-level medical personnel, social support measures for medical workers.

ГОРОДА БУДУЩЕГО: ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЮ

© 2025 г. В.А. Кулагин^{а,*}, Д.А. Грушевенко^{а,**}, А.А. Галкина^{а,***}

^аИнститут энергетических исследований РАН, Москва, Россия

*E-mail: vakulagin@ineiran.ru

**E-mail: grushevenkod@gmail.com

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

Поступила в редакцию 02.09.2024 г.

После доработки 29.12.2024 г.

Принята к публикации 24.02.2025 г.

Жители мегаполисов мечтают об улучшении качества жизни, экологической обстановки, решении транспортных проблем, повышении уровня комфорта и безопасности. Научно-технологический прогресс открывает возможности для инновационного развития городской среды. Энергоснабжение при этом становится одним из ключевых элементов города будущего, ведь умные роботизированные системы будут зависеть от его устойчивости. Структура энергосистемы и организация её работы определяют затраты на энергию, объёмы вредных выбросов, рациональные способы теплоснабжения, степень участия устройств потребителя в балансировании нагрузки. Действующие проекты городов будущего позволили на практике проверить жизнеспособность различных решений и выявить ряд ограничений и проблем. Перечисленные в статье направления развития энергетического комплекса обозначили аспекты, на которые нужно обратить внимание уже сегодня. Важно, чтобы в планах были заложены гибкость и возможность расширения городов, что обеспечит внедрение инноваций. Грамотное ведение городского хозяйства, в свою очередь, поможет сбалансировать нагрузку на энергосистему, а значит, сократить общие затраты на энергоснабжение.

Ключевые слова: города будущего, энергоснабжение, транспорт, экология, электричество, умные системы.

DOI: 10.31857/S0869587325030063, **EDN:** CUBENS

Города будущего вызывают большой интерес не только у потенциальных жителей, но и у представителей органов власти, бизнеса, архитекторов и учёных. Нужно оценить условия жизни грядущих поколений и нащупать новые направления реализации творческого, управленческого и коммерче-

ского потенциала. Планирование городов без учёта их последующего развития зачастую препятствует внедрению новых технологических решений, созданию необходимой инфраструктуры, повышению стандартов жизни людей [1]. Поэтому действовать надо на перспективу. Потребности завтрашнего дня



КУЛАГИН Вячеслав Александрович — заведующий отделом развития энергетического комплекса мира и России ИНЭИ РАН. ГРУШЕВЕНКО Дмитрий Александрович — старший научный сотрудник ИНЭИ РАН. ГАЛКИНА Анна Александровна — старший научный сотрудник ИНЭИ РАН.

уже сейчас должны быть заложены в основу ключевых направлений научно-технического прогресса и подготовки персонала.

Анализ публикаций, обсуждений на форумах и конференциях, посвящённых перспективным проектам высокотехнологичных мегаполисов, помог выделить основные требования к городам будущего:

- чистые воздух, вода и улицы, большое количество зелёных зон;
- отсутствие транспортных пробок;
- удобное и быстрое перемещение;
- комфортные условия в каждом районе проживания с инфраструктурой, находящейся в шаговой доступности (бассейны, образовательные центры, спортзалы, прогулочные зоны, магазины, парки, кинотеатры, рестораны);
- оперативная доставка товаров;
- минимизация времени ожидания;
- эффективное использование всех видов ресурсов;
- безопасность;
- эстетичность.

Конечно, на пути к достижению перечисленных условий встанут технологические и экономические ограничения. На практике градостроители стремятся максимально приблизиться к идеалу. При этом важнейшим критерием остаются приемлемые затраты на проживание.

Предлагаемые решения. Комплекс решений, направленных на удовлетворение будущих потребностей, проще всего реализовать в построенных с нуля городах, которые, кроме того, могут послужить демонстрационной площадкой. Однако чаще речь идёт о развитии уже существующих населённых пунктов. Для повышения эффективности использования ресурсов возводят здания с низким энергопотреблением за счёт высокой теплоизоляции, умных систем регулирования климата и освещения в помещениях, датчиков движения. Повышается интерес к повторному использованию воды, пластика, бумаги, стекла и т.д.

Одна из главных проблем современных мегаполисов — транспорт [1, 2]. С ним связаны пробки, шум, выбросы, сложности с перемещением пешеходов, травмоопасность. Неслучайно архитекторы стремятся к минимизации транспортных средств на улицах. Часто для этого предлагается перенести парковки и автотрассы под землю, а также сократить количество личных машин путём развития общественного транспорта и расширения транспортных услуг. Перемещение на автомобиле станет бессмысленным благодаря концентрации всего необходимого в шаговой доступности, развитию беспилотной автономной доставки, пешеходной и велосипедной инфраструктуры, сети общественного транспор-

та. Повышенное внимание уделяется переходу на более экологичные транспортные средства: это и получивший широкое распространение электро-транспорт (электромобили, электробусы, метро, трамваи) [3], и, например, водородный транспорт [4] или перемещение по туннелям в специализированных капсулах. Для преодоления больших расстояний рассматриваются варианты гиперлупов — поездов, передвигающихся в вакууме со скоростями, сравнимыми со скоростью самолётов [5]. Перспективные транспортные решения направлены не только на перемещение людей и доставку грузов. Предлагается, кроме того, заменить перевозку мусора автотранспортом пневматическими системами его удаления из зданий, откуда он будет попадать в централизованные пункты сбора отходов [6].

Транспорт — один из основных источников вредных выбросов в городах, однако весомый вклад в общее загрязнение вносят тепло- и электростанции, промышленные предприятия [7, 8]. Продолжаются споры о целесообразности размещения объектов промышленности в городах, а итоговые решения наверняка будут зависеть от типа организации и параметров производственных площадок. Очевидно, что сохранить свои позиции смогут лишь те производства, которые будут стремиться к нулевым выбросам и обзаведутся системами очистки [9]. При этом предприятия, не способные интегрироваться в новую среду, но играющие важную роль в развитии городской агломерации, станут её спутниками. Наличие источников производства тепла и электроэнергии в городах обусловлено необходимостью устойчивого электроснабжения и производства тепла вблизи объектов потребления. Вынесение источников генерации электроэнергии за пределы поселений технически возможно путём дополнительных инвестиций в сетевую инфраструктуру.

С теплоснабжением дела обстоят сложнее. Централизованное тепло и водоснабжение избавляют от дополнительного оборудования в домах и в случае производства в режиме когенерации повышают КПД работы энергетического сектора: выделяемое тепло направляется на полезное использование, что позволяет исключить дополнительный расход электричества или ископаемых топлив для нагрева воды [10]. В будущем это останется актуальным для населённых пунктов с холодными зимами и высокой долей ископаемых топлив в энергобалансе, но с упором на снижение выбросов за счёт повышения КПД, установки систем очистки и улавливания. Альтернативой служит применение электричества и геотермальной энергии для получения тепла и горячей воды [11]. Расход ископаемых топлив непосредственно в быту (приготовление пищи на газу, нагрев воды) будет снижаться благодаря централизованным решениям и переходу на электричество.

Особое место в городах будущего займут умные системы [12, 13], востребованные во многих сфе-

рах: управление транспортными потоками, освещение, полив и обработка поверхностей от гололёда, диагностика состояния домов и объектов инфраструктуры, регулирование климата в помещениях, контроль за безопасностью, формирование своевременных подсказок и целеуказаний на основе напрямую получаемой информации и предиктивной аналитики для мэрии, специальных и коммунальных служб. С помощью больших данных можно повысить комфорт жизни во всём городе [11]. Цифровые двойники станут хорошим инструментом для обучения, отработки нештатных ситуаций, тестирования оборудования и программного обеспечения до внедрения на объектах. Параметры освещённости и климатические условия в помещении должны регулироваться автоматически и зависеть от наличия людей (включая их перемещение), времени суток и погодных условий [14].

Роботизация многих функций, которые сегодня выполняет человек, — ещё одно достоинство умных городов, способствующее повышению качества жизни. Сюда входят беспилотный транспорт (в том числе доставка), уборка улиц и помещений, уход за растениями (стрижка газона, посев семян, удаление сорняков и пр.), обслуживание в магазинах и пунктах питания, приготовление пищи, оказание банковских и медицинских услуг, контроль и наблюдение с помощью беспилотных летательных аппаратов и наземных роботов, дефектоскопия [15, 16].

Для организации шаговой доступности ключевой инфраструктуры, повышения эффективности использования городского пространства и сокращения территорий, разрезаемых транспортными артериями, требуется целый комплекс решений [17]. Например, в одном комплексе на разных уровнях могут находиться жилые помещения, места для хранения, зелёные зоны, объекты обслуживания (магазины, рестораны, спортивные залы, салоны красоты), паркинги, образовательные учреждения и даже фермы для выращивания растений, при этом транспорт будет двигаться по специальным эстакадам или под землёй. Таким образом, пешеходные потоки во многих зонах не будут пересекаться с автомобильными.

Одна из серьёзных проблем мегаполисов — долгий путь от мест проживания к местам работы. Это влечёт за собой потерю времени, большие стрессовые нагрузки, дополнительные финансовые расходы и повышение вредных выбросов. Часть людей стремится уйти из офисов пораньше не с целью отдохнуть, а чтобы быстрее добраться до дома и поработать в спокойной обстановке. С развитием технологий человеку уже не нужно постоянно присутствовать на рабочем месте — современные телекоммуникации и качественная интернет-связь позволяют удалённо подключаться к рабочим системам, а в скором времени появятся более продвинутые сервисы для дистанционных совещаний [18], где все участники будут пребывать в одном визуальном пространстве (даже

с опцией пошепаться с соседом), физически находясь на больших расстояниях друг от друга.

Дистанционная работа в отдельных сферах снизит нагрузку на транспорт в пиковые часы и предоставит населению выбор — остаться в городе или поселиться в частном доме в каком-нибудь красивом месте. Многих от принятия такого решения сейчас останавливают две ключевые проблемы — невозможность выполнять свои трудовые обязанности вдали от рабочей инфраструктуры и ограничение физического снабжения удалённых объектов всем необходимым (тепло, надёжное электроснабжение, Интернет). Благодаря научно-техническому прогрессу работник виртуально интегрируется в рабочий процесс, улучшается жизнеобеспечение отдалённых населённых пунктов, не подключённых к стабильным центральным коммуникациям. Активно разрабатываются системы автономного водоснабжения и водоотведения, технически и экономически доступным стал высокоскоростной Интернет с возможностью резервирования¹. Понятны потребности и в сфере энергоснабжения. Здесь уже каждая семья сможет решить, в каких условиях жить — в городских или загородных. Самое главное, что появляется выбор и практически снимаются два основных препятствующих ему ограничения. Вполне вероятно, что города будут развиваться вместе с зонами-спутниками и формировать расширяющиеся агломерации.

Облик большинства современных городов портят провода (электрические, телефонные, интернет-кабели), которые могут размещаться на специальных опорах и просто между домами и столбами. Нередко они становятся причиной травмирования людей, а произрастающие в непосредственной близости деревья создают угрозу обрывов в случае плохих погодных условий. В некоторых странах километры проводов давно не используются, средства на демонтаж не выделяются, а новые провода добавляются по мере необходимости, лишь усугубляя проблему. В будущем это негативно скажется на функционировании городов. Дело даже не в эстетике, а в помехах для летательных аппаратов (в том числе компактных), критичности нарушения связи и электроснабжения для умных систем. Необходимы контроль и своевременный демонтаж вышедших из строя проводов, перенос нужных проводов в подземные каналы и интеграция в инфраструктурные объекты, а также широкое внедрение беспроводных технологий.

Отличительная черта городов будущего — их высокая автономность при минимальном негативном воздействии на внешнюю среду. Достичь этого можно путём реализации комплекса мер. Во-первых, важно решить одну из главных проблем современ-

¹ Резервирование — это дополнительный путь доступа к сети, который активируется в случае сбоя или отключения основного канала. Оно необходимо, когда отсутствие связи критично для компаний.

ного мира — растущий в геометрической прогрессии объём мусора и увеличение и без того большого количества свалок. Нужны механизмы сортировки, переработки мусора (на отдельных объектах и в местах генерации отходов) и повторного использования продуктов переработки. Во-вторых, обязательным требованием к новым зданиям должна стать их высокая энергоэффективность, включая теплоизоляцию стен, системы рекуперации воздуха, умного управления климатом и освещением в помещениях.

Город может не только потреблять энергию, но и производить её, тем самым повышая свою автономность. Для этого есть несколько способов:

- размещение солнечных батарей на крышах зданий;
- нагрев воды за счёт солнечной энергии;
- установка систем генерации электроэнергии на городских объектах, например в лифтах;
- освоение геотермальной энергии;
- использование биогаза различного происхождения.

Предполагаемые трансформации мегаполисов нуждаются в адаптации подходов к их энергоснабжению.

Изменения в энергоснабжении. Роль энергетики в новых городах будет возрастать, равно как и количество возложенных на неё задач. Энергетика, в свою очередь, будет выдвигать собственные требования к городам и влиять на решения, касающиеся организации жизни. Устойчивость энергоснабжения критически важна в условиях электрификации различных процессов жизнедеятельности и бизнеса, передачи автоматизированным и роботизированным системам части функций обслуживания и управления. Для обеспечения устойчивости нужно:

- расширить мощности линий электропередач и вспомогательного оборудования, включая схемы разноуровневого резервирования;
- обеспечить интеграцию на различных участках мощных электрозарядок;
- применять накопители и создавать условия (в том числе тарифные и регуляторные) для хранения энергии у потребителей;
- использовать умное управление в электросистеме, в частности, для работы с большим количеством распределённых объектов разной мощности, обеспечивающих производство, хранение и потребление энергии;
- внедрять системы умного дома, учитывающие ситуацию в энергосистеме, оптимизирующие нагрузку и одновременно финансовые расходы.

Энергетика вполне может стать элементом многоуровневого планирования. Например, геотермальные тепловые насосы позволяют извлекать энергию с глубины в несколько километров, кры-

ши вполне подходят для размещения солнечных панелей и тепловых баков (для регионов с высокими температурами), а на небольших глубинах могут пролегать подземные линии электропередач и коммуникации систем управления.

Города будут обязаны соблюдать следующие условия:

- максимально возможный перенос спроса на непиковые часы, а при большой доле возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в балансе генерации энергосистемы — синхронизация режимов производства и потребления;
- участие объектов потребления в балансировании нагрузки с помощью накопителей;
- адаптация проектов зданий к размещению генерирующего и стабилизирующего оборудования (солнечные панели, трансформаторы, накопители);
- наличие в градостроительных планах и на инфраструктурных объектах места под прокладку скрытых линий электропередач с соответствующей защитой от природного и техногенного воздействия и ремонтпригодностью.

Для реализации первого и второго пунктов наиболее эффективны методы тарифного регулирования, для второго, третьего и четвёртого — стандарты, нормативы и рекомендации.

В сфере транспорта ужесточатся требования к качеству топлива для двигателей внутреннего сгорания и по снижению расходов, кроме того, будут рассматриваться более экологичные альтернативы. Газомоторный транспорт может оказаться привлекательным для отдельных регионов, однако использование водорода маловероятно из-за его высокой стоимости, взрывоопасности и потерь. С учётом текущего и ожидаемого в ближайшие десятилетия научно-технического прогресса возможно увеличение доли городского электротранспорта, в том числе в сфере малой мобильности и доставки [19].

Появляются уникальные способы повышения энергоэффективности зданий. Уже сегодня такие современные решения, как теплоизоляция, рекуперация, умное управление климатом и освещением, позволяют в разы снизить потребление тепла и электроэнергии и, соответственно, финансовые расходы.

Городские энергосистемы обзаведутся множеством активных потребителей и поставщиков. С одной стороны, это усложнит процесс управления, с другой стороны, отвечает запросам и поддерживает устойчивость снабжения. Например, городской объект является потребителем электроэнергии. Однако при использовании ВИЭ в отдельные часы он уже будет отдавать энергию в сеть. Более гибкими в плане нагрузки могут быть и умные устройства, оптимизирующие дисбаланс спроса. Локальные накопители электромобилей или другого оборудования способны принимать энергию в ночные часы и возвращать свободные остатки в периоды пиков.

Таким образом, неизбежна интеграция отдельных объектов и городских микросетей в существующие электросети. Одновременно появляются новые задачи по управлению и стабильности работы этой сложной системы, её защите от намеренных атак или ошибок операторов, физическому балансированию нагрузки и перетоков. Развитие умных сетей решит проблемы управления и балансирования. Консолидация и обработка больших массивов данных (Big Data) позволят объединить разрозненную информацию с целью принятия оперативных решений и анализа особенностей работы системы. Предиктивная аналитика поможет своевременно находить узкие места и правильно реагировать на изменение обстановки, а цифровые двойники дают возможность тестировать оборудование и программное обеспечение, отрабатывать нештатные ситуации и обучать персонал. Естественно, потребуются весомые инвестиции в сетевую инфраструктуру — не только для внедрения новых систем управления, но и для разнонаправленной передачи больших объёмов электроэнергии, в том числе для резервирования.

Встаёт вопрос о размещении в городе производственных объектов топливно-энергетического комплекса, работающих на ископаемом топливе. Их вынос за пределы мегаполисов освободит ценное пространство и улучшит качество воздуха. Для перерабатывающих предприятий, включая нефтеперерабатывающие заводы, целесообразность размещения вне города очевидна. Электростанции, работающие только на производство электроэнергии, также могут находиться за чертой городов без существенных угроз энергоснабжению. Более сложная ситуация складывается с котельными и объектами когенерации, которые вырабатывают одновременно электрическую и тепловую энергию. Для многих стран, расположенных в тёплом климате, наличие централизованного теплоснабжения и горячего водоснабжения не актуально — достаточно локальных устройств нагрева воды с помощью электричества, солнечной или геотермальной энергии. Для северных территорий обогрев жизненно необходим. Теоретически для этого можно использовать электричество, но, если в основе генерации лежит ископаемое топливо, это приведёт к росту вредных выбросов и расходов потребителей. Именно одновременное производство электроэнергии и тепла позволяет повысить КПД сжигания топлив и работы АЭС. Можно было бы разместить объекты генерации за пределами городов с передачей тепла по трубам, однако эффективность этого способа очень чувствительна к расстоянию. Поэтому рациональное решение зависит от географии и особенностей топливно-энергетического комплекса:

- для стран с тёплым климатом уместны децентрализованные системы нагрева в месте потребления (как правило, на электричестве);

- для холодного климата, где в основе энергоснабжения лежит ископаемое топливо, — когенерация в городах с расчётом на мощность по теплу, остальное — за их пределами; при этом электростанции должны соответствовать самым современным технологиям контроля выбросов (улавливание, фильтрация);

- для стран с холодным климатом, где не используется ископаемое топливо, — обогрев электричеством или котельные, отвечающие требованиям по КПД и выбросам.

Для удалённых объектов (автономное проживание) будут востребованы комплексные решения по энергоснабжению, которые смогут обеспечить стабильное получение электроэнергии и тепла. С каждым годом энергетика предлагает новые решения в этой сфере: сжиженный углеводородный газ, сжиженный природный газ, компримированный (сжатый) природный газ, солнечные панели с накопителями, устройства нагрева воды от солнца, тепловые насосы и т.д. Многие из них имеют свои недостатки, касающиеся надёжности и цены, поэтому будет рационально совмещать их с учётом потребностей конкретного пользователя. Самое главное — сформировать реальные возможности для комфортного проживания в удалённых местах и планомерно повышать их доступность. Удалённость постепенно перестаёт быть ограничением.

Мечты и реальность. В XXI в. было предложено несколько крупных проектов городов будущего, в которых учтены перечисленные выше требования: экологичность (с нулевыми или стремящимися к нулю выбросами), отсутствие пробок и транспортных проблем, комфорт жителей, умные системы обслуживания с высокой автоматизацией и роботизацией, эффективность использования ресурсов, высокий уровень безопасности и др.

Проект The Line в Саудовской Аравии [20] предполагает строительство двух зданий длиной 170 км и высотой 500 м каждое. Они представляют собой протяжённый город шириной 200 м. В основе концепции лежит многоуровневость, за счёт которой должна обеспечиваться шаговая доступность всех необходимых объектов (в пределах 5 минут), отсутствие автотранспорта и перемещение только по железной дороге, позволяющей проехать из конца в конец всего за 20 минут. Высота строений и растения должны создавать тень и более комфортный климат, чем в окружающей пустыне. Заявлено, что выбросы CO₂ будут на нулевом уровне.

В соседних ОАЭ запущен проект города Масдар [21], который позиционируется как первый экогород в мире, в котором вся энергия должна производиться за счёт возобновляемых источников, а отходы полностью перерабатываться. Автомобили будут замещены общественным и персональным автоматическим транспортом (небольшие кабины, курсирующие по специализированной сети). Для

защиты от пустынных ветров предусмотрено строительство высокой стены, а большие искусственные зонты должны давать тень и накапливать энергию для ночного времени.

Желание людей если не жить в окружении природы, то хотя бы приблизить к ней городские условия возникло с самого начала индустриализации. Достаточно вспомнить известный проект А. Гауди “Саграда Фамилия”, в котором основные несущие внутренние элементы напоминают деревья [22]. В настоящее время несколько стран объявили о запуске проектов города-леса, и речь идёт уже не об имитации живой среды, а о её интеграции в повседневность. В частности, в Китае экологичность легла в основу проекта Liuzhou Forest City [23]. На крышах и террасах всех зданий должен быть размещён миллион растений. Согласно расчётам, они будут поглощать 10 тыс. т CO₂ в год, снизят среднюю температуру окружающей среды и увеличат биоразнообразие. Энергетическую автономность обеспечат солнечные панели, а качество воздуха и воды — системы фильтрации и очистки. Весь транспорт будет электрическим. Такому же принципу отвечает концепция малайзийского проекта Forest City [24]. Это будет экологически чистый мегаполис с вертикальным озеленением, системами сбора дождевой воды, использованием солнечной и ветряной энергии [19]. Транспорт будет перемещаться по подземным тоннелям, а улицы останутся свободными. Все эти проекты получили крупное финансирование и по плану должны были быть полностью или частично реализованы к моменту написания данной статьи. Поэтому сейчас мы можем оценить, что получилось на практике.

Проект The Line был пересмотрен через 5 лет после запуска, протяжённость линии сократилась в 71 раз — всего до 2.4 км. Вместе с этим отпала потребность в сверхскоростной железной дороге, а ожидаемая численность населения уменьшилась с 1.5 млн до 300 тыс. человек. Пока первоначальные планы меняются, многие специалисты задаются вопросами: за счёт какой внутренней энергии будет функционировать такой компактный объект с очевидно высоким энергопотреблением, как обеспечить приемлемые климатические условия и освещённость для растений на разных уровнях, насколько экологичными будут строительство и материалы и т.д.?

Проект Масдар реализуется с 2006 г. За это время из заявленных 5 км² застроено менее 30%. Население значительно меньше, чем планируемые к 10-летию от начала строительства 40 тыс. постоянных жителей и 50 тыс. приезжающих на работу. Нулевые выбросы сведены к поддержанию их на низком уровне, а сам город, помимо солнечной, получает энергию из ископаемых источников с соседних территорий. Идея автономности на практике привела к подключению города к коммуникациям Абу-Даби.

От персонального автотранспорта отказаться пока не удалось из-за отсутствия альтернатив, но автомобили с двигателем внутреннего сгорания приходится оставлять на въезде в город.

Малайзийский Forest City возведён лишь частично, и его уже прозвали городом-призраком, где проживают только 9 тыс. человек, вместо 700 тыс. Почти пустые здания, обычные машины на улицах, засохшие без ухода растения. Информация о Liuzhou Forest City ограничивается проектными данными от 2017 г., сведений о продолжении строительства в публичном доступе нет.

Многим городам пришлось пройти непростой путь от амбициозной идеи к практической реализации, однако действительность внесла существенные коррективы. Одно из главных ограничений — стоимость жизни в таком городе и неготовность населения и бизнеса оплачивать услуги по заявленным тарифам, ведь многие из предлагаемых решений значительно дороже традиционных как по затратам на этапе строительства, так и по обслуживанию, а кроме того, не всегда удобны. Например, интересная идея зелёных домов-садов, где растения высаживались бы на разных уровнях снаружи и внутри помещений, на практике привела к нашествию насекомых, грызунов, различных вредителей, появлению сырости, плесени и коррозии. Это не означает, что такие строения заведомо утопичны, но важно детально проработать концепцию с правильным подходом к выбору растений и материалов для стен, отделки и несущих конструкций, количеству и размеру таких зон и системам их обслуживания.

Что касается транспортной нагрузки, то, например, повышение доступности средств малой мобильности, такси и каршеринга снижает потребность в личных авто, но одновременно повышает спрос на перевозки: вместо прогулки до метро пешком люди едут на электросамокатах, доставка товаров многочисленными курьерами исключает поход в ближайший магазин и большие закупки в универсамах, для поездок в зоны с ограниченной парковкой используют каршеринг, а не общественный транспорт, даже в парках вместо обычных велосипедов и самокатов мы всё чаще видим компактный электротранспорт. Идеи создания разноуровневой транспортной инфраструктуры, включая подземную, оборачиваются высокими затратами на строительство и обслуживание, а также необходимостью грамотно увязывать тоннели с другими коммуникациями.

Многие инновационные и амбициозные проекты сталкиваются с постепенной утратой интереса инвесторов, которые начинают осознавать их реальные проблемы. В итоге изначальные задумки получают меньше финансирования и становятся всё более похожи на традиционные города. Значит ли это, что из-за проблем и незавершённых проектов нужно отказаться от идеалистических образов мегаполисов и вернуться к привычным решениям? Ко-

нечно же, нет. Технологически и регуляторно мир ещё не готов ко многим инновациям, и явно не все из них окажутся действительно востребованы обществом. Однако в них очевидно есть потребность, а новые технологические решения приближают нас к образу идеального города, о котором говорилось в начале статьи.

Российская специфика. Наша страна обладает уникальными климатическими, инфраструктурными, экономическими и демографическими особенностями, и хотя власти следуют общемировым тенденциям городского развития, некоторые из них должны быть адаптированы под местные реалии. Обширные территории стимулируют отработку комплекса различных решений. Например, на юге вполне оправданна электрификация транспорта ввиду благоприятных температурных условий для работы аккумуляторов и низкой потребности в обогреве транспортных средств. В южных городах в домах используются автономные электрические системы отопления, а также солнечные панели и нагреватели воды на крышах. При этом самый напряжённый период для энергосистем — лето, когда наблюдается массовый наплыв отдыхающих, полноценно работают отели и вся туристическая индустрия, требующие почти непрерывного кондиционирования. Следовательно, подготовительные и плановые ремонтные работы нужно проводить в другие сезоны. В северных регионах, наоборот, пик нагрузки на энергосистему приходится на зиму. Внедряется когенерация, но с высокими требованиями к технологиям и выбросам.

Технологический прогресс открывает всё больше возможностей для автономного и децентрализованного энергоснабжения. Это важно как для обеспечения энергией удалённых регионов, так и для создания спутниковых зон с широким территориальным охватом и отдельными удалёнными сегментами, где смогут проживать люди, предпочитающие дистанционную работу. Интерес к таким решениям в России заметно возрос после 2019 г. В некоторых регионах на севере и востоке, куда завозится дорогое топливо, экономически эффективно использовать геотермальную и ветряную энергию. Многоуровневое планирование будет необходимо для густонаселённых мегаполисов и центров крупных городов. В небольших населённых пунктах, где стоимость квадратного метра территории не очень высока, такие решения не всегда оправданны.

Согласно прогнозам Росстата и ООН, в России не ожидается существенного прироста населения, поэтому основное внимание будет уделяться развитию уже имеющихся городов. В связи с этим образовался огромный пласт задач по нескольким направлениям энергетики:

- повышение эффективности использования энергоресурсов (модернизация теплосетей, внедрение умных систем управления климатом, переход на

энергоэффективное освещение с датчиками движения, теплоизоляция зданий и реновация устаревших объектов);

- стимулирование потребителей к замене старых бытовых приборов (сравнительный анализ показал, что за 30–40 лет они становятся эффективнее примерно в 2 раза);

- увеличение мощности электросетей и вспомогательного оборудования, в том числе для зарядки электротранспорта, строительство и реконструкция коммуникационных объектов с запасом мощности;

- широкое внедрение технологий умных сетей, больших данных, предиктивной аналитики и цифровых двойников — необходимых элементов устойчивого функционирования будущих электросистем, которые требуют значительного усиления НИОКР по этим направлениям;

- перенос под землю линий электропередач и своевременное проектирование соответствующих каналов в градостроительных планах.

Одна из главных задач для России — создание благоприятных условий для жизни и развития в различных регионах, чтобы избежать концентрации населения исключительно в крупных городах и административных центрах. Этому должны способствовать поддержка и развитие уникальных городских и региональных специфик, включая не только традиционные, но и новые востребованные направления. Они должны совмещать бизнес-проекты с научно-исследовательской деятельностью в этих сегментах. Фактически это распределение территории страны по интересам и профильным специализациям. Особое внимание следует уделять региональной медицине и образованию. Большая роль отводится обеспечению устойчивого, бездефицитного и доступного энергоснабжения путём рационального использования местных ресурсов, в том числе возобновляемых, если это экономически оправданно.

* * *

Реализация инновационных решений, технология которых ещё не стала массовой, неизбежно будет дорогостоящей. Перспективные города требуют крупных внешних инвестиций на этапах строительства и последующего функционирования и платёжеспособного спроса, ведь комфорт стоит дорого. Наиболее вероятно развитие экспериментальных пилотных проектов с дальнейшим внедрением в обычные города тех инноваций, которые окажутся наиболее привлекательными. Приоритетные задачи развития, над которыми нужно работать архитекторам, научному сообществу и бизнесу, можно сформулировать уже сейчас:

- многоуровневое планирование (вертикальный рост городов с использованием подземных уровней и воздушного пространства);

- максимальная энергоэффективность объектов;
- внедрение и повышение эффективности умных систем, комплексов больших данных, предиктивной аналитики и цифровых двойников;
- роботизация систем обслуживания;
- повышение экологичности транспорта и доли перерабатываемых отходов;
- обеспечение высокой мобильности и сокращение потребности в транспорте (концепция шаговой доступности ключевых объектов);
- максимальное использование собственных источников энергии в пределах города (солнечная, геотермальная и т.д.);
- интеграция растительной среды в городское пространство с учётом многоуровневого планирования.

В энергетическом комплексе всё большую актуальность приобретают работы по следующим направлениям:

- внедрение умных систем, к которым будут подключены как крупные электростанции, так и малые объекты генерации (включая ВИЭ в домах), потребители с умным оборудованием и накопителями, операторы хранения, каждый из которых сможет получать оперативную информацию о потребностях системы и тарифах;
- активное использование больших данных, предиктивной аналитики и цифровых двойников, без которых не получится корректно прогнозировать нагрузку, определять узкие места системы, отрабатывать нештатные ситуации и эффективно тестировать оборудование и программное обеспечение;
- интеграция в систему многоуровневого резервирования;
- отработка методов передачи электроэнергии в подземных каналах и на большие расстояния для взаимной страховки энергосистем при расширении использования ВИЭ;
- планирование объектов генерации с учётом тепловой нагрузки и максимального КПД в границах города и выносом ископаемой генерации, не связанной с теплом, за его пределы;
- перенос объектов переработки топлива за черту города;
- продолжение исследований и апробация практического использования локальных источников энергии, исходя из географических особенностей, включая солнечную и подземную геотермальную энергию, биогаз из отходов и т.д.;
- повышение экологических стандартов используемых топлив;
- совершенствование технологий автономного энергоснабжения с выработкой комплексных решений с учётом повышения устойчивости и необходимости резервирования энергии.

Большую роль играют своевременные регуляторные изменения. С помощью тарифов необходимо стимулировать энергосбережение и участие потребителей в оптимизации системной нагрузки. Нормативная база должна обеспечить приём электроэнергии от потребителей в сеть с локального генерирующего оборудования и накопителей. Нормативные требования и стандарты будут во многом определять выбор варианта транспортировки. Утверждение регламентов для ночного обслуживания городов роботизированной техникой (уборка, доставка товаров) и зарядки транспорта позволит снизить дневную нагрузку на транспортную и энергетическую системы.

Многое будет зависеть от развития технологий и их конкурентоспособности. Но уже сегодня мы можем на практике реализовать то, что у жителей мегаполисов пока ассоциируется с городами будущего. Способствовать этому в значительной степени будет согласованность решений по энергоснабжению и планированию. При этом при строительстве новых и планировании развития существующих городов важно заранее позаботиться о гибкости, позволяющей впоследствии интегрировать в них новые решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Полищук В.Е.* Инновационный урбанизм // Инновации. 2015. № 4 (198). С. 5–9.
2. *Polischuk V.E.* Innovative urbanism // Innovation. 2015, no. 4 (198), pp. 5–9. (In Russ.)
3. *Ben Ali M., Boukettaya G.* Urban Transport Solutions for a Sustainable and Smart Mobility Future: Macro-Environmental Analysis // In book: Smart Cities for Sustainability. Emerald Publishing Limited, 2023. Pp. 49–70.
4. *Сакульева Т.Н., Сотникова В.В.* Роль электро-транспорта в городской транспортной системе // Вестник ГУУ. 2022. № 5. С. 108–114.
5. *Sakulyeva T.N., Sotnikova V.V.* Role of electric transport in urban transportation system // Vestnik Universiteta. 2022, no. 5, pp. 108–114. (In Russ.)
6. *Albatayneh A., Juaidi A., Jaradat M., Manzano-Agugliaro F.* Future of Electric and Hydrogen Cars and Trucks: An Overview // Energies. 2023, vol. 16, 3230.
7. *Pfoser S., Berger T., Putz L.-M. et al.* Hyperloops: New transport mode enabled by the Physical Internet? University of Applied Sciences Upper Austria, 2017. DOI:10.13140/RG.2.2.25830.32328
8. *Dotsenko A.I., Babaev T.K.* Pneumatic transportation of municipal waste – a means of improving the ecology of the city // E3S Web of Conferences. 2023, vol. 403, 04004.
9. *Черногаева Г.М., Жадановская Е.А., Малеванов Ю.А.* Источники загрязнения и качество

- атмосферного воздуха московского региона // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 2. С. 109–116.
- Chernogaeva G.M., Zhadanovskaya E.A., Malevanov Yu.A.* Pollution Sources and Air Quality in the Moscow Region // *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2019, no. 2, pp. 109–116. (In Russ.)
8. *Довольская М.Л., Загайнов М.С., Ивлева Т.П. и др.* Состояние загрязнения атмосферы в городах России за 2022 г. СПб.: Росгидромет, 2023.
Dovolskaya M.L., Zagainova M.S., Ivleva T.P. et al. The state of atmospheric pollution in Russian cities in 2022. St. Petersburg: Roshydromet, 2023. (In Russ.)
 9. *Грушевенко Е.В., Капитонов С.А., Ляшик Ю.А.* Анализ конкурентоспособности технологий CCUS: технологическая готовность и экономика // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023. № 1 (8). С. 158–176.
Grushevenko E.V., Kapitonov S.A., Lyashik Yu.A. et al. CCUS technology competitiveness analysis: technology readiness level and economics // *PROneft. Professionally about Oil*. 2023, no. 1 (8), pp. 158–176. (In Russ.)
 10. *Филиппов С.П., Дильман М.Д.* Перспективы использования когенерационных установок при реконструкции котельных // Промышленная энергетика. 2014. № 4. С. 7–11.
Filippov S.P., Dilman M.D. Prospects for the use of cogeneration plants in the reconstruction of boiler houses // *Industrial Energy*. 2014, no. 4, pp. 7–11. (In Russ.)
 11. *Davies C.* Big Data Analytics for Smart Cities // *International Journal of Computing and Engineering*. 2024, vol. 6, pp. 14–29.
 12. *Ильина И.Н., Коно М.* Трансформация подходов к развитию “умного города”. М.: Изд. дом ВШУ, 2023.
Ilina I.N., Kono M. Transformation of Approaches to “Smart City” Development. Moscow: Publishing House of Higher School of Economics, 2023. (In Russ.)
 13. *Madhee K.* Future of urban architectural design based on the concept of smart city // *Journal of Autonomous Intelligence*. 2023, vol. 7. DOI:10.32629/jai.v7i1.925
 14. *Rani P., Kumari S., Sharma A.* Smart City: A Technological and Sustainable Approach. 2024.
 15. *Alam T., Gupta R., Ahamed N.N. et al.* Smart mobility adoption in sustainable smart cities to establish a growing ecosystem: Challenges and opportunities // *MRS Energy & Sustainability*. 2024, vol. 11, pp. 304–316.
 16. *Mentsiev A., Takhaev U., Mentsiev A.* Digital transformation in transport infrastructure energy efficiency: Smart cities and sustainable mobility // *E3S Web of Conferences*. 2023, vol. 460, pp. 1–5.
 17. *Costa S., Oliveira T., Muller A. et al.* Urban Planning and Accessibility: A Priority Right to Ensure the Well-Being of People in Urbanized Spaces // *Revista de Gestão Social e Ambiental*. 2024, vol. 18, e07480.
 18. *Nanos A., James A.* A Virtual Meeting System for the New Age // *IEEE 10th International Conference on e-Business Engineering, ICEBE*. 2013, pp. 98–105.
 19. Прогноз развития энергетики мира и России 2024 / Под ред. А.А. Макарова и др. М.: ИНЭИ РАН, 2024.
The forecast of the development of the energy industry of the world and Russia in 2024 / Ed. by A.A. Makarov et al. Moscow: ERI RAS, 2024. (In Russ.)
 20. *Oldfield P.* Saudi Arabia’s Thoroughly Iconic, Unsustainable City in the Desert // *The New York Times*. 2024, June 17, section A, p. 19.
 21. *Maghelal P., Li X., Qahtani A.* Evaluating the accessibility of a sustainable city: case study of Masdar city, UAE // *WIT Transactions on the Built Environment*. 2022, vol. 212, pp. 87–96.
 22. *Estévez A., Abdallah Y.* Biodigital design and symbolism in the Sagrada Familia Biodigital Bridge // *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*. 2023, vol. 19, pp. 365–382.
 23. *Tandon G.* Smart Forest City, Liuzhou. 2020.
 24. *Avery E., Moser S.* Urban speculation for survival: Adaptations and negotiations in Forest City, Malaysia // *Environment and Planning C Politics and Space*. 2023, vol. 41, pp. 221–239.

CITIES OF THE FUTURE: OPERATING FEATURES AND ENERGY SUPPLY REQUIREMENTS

V.A. Kulagin^{a,*}, D.A. Grushevenko^{a,**}, A.A. Galkina^{a,***}

^aThe Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: vakulagin@ineiran.ru*

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

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

Residents of megacities dream of improving the quality of life, environmental conditions, solving transport problems, and improving comfort and safety. Scientific and technological progress opens up opportunities for innovative development of the urban environment. At the same time, energy supply is becoming one of the key elements of the city of the future, because smart robotic systems will depend on its sustainability. The structure of the energy system and the organization of its operation determine energy costs, the amount of harmful emissions, rational methods of heat supply, and the degree of participation of consumer devices in load balancing. The existing projects of such cities have made it possible to test the viability of various solutions in practice and identify a number of limitations and problems. The directions of development of the energy complex listed in the article have identified aspects that need to be addressed today. It is important that the plans include flexibility and the possibility of expansion, which will ensure the introduction of innovations. Proper urban management, in turn, will help to balance the load on the energy system, and therefore reduce the overall cost of energy supply.

Keywords: cities of the future, energy supply, transport, ecology, electricity, smart systems.

РАЗМЫШЛЕНИЯ НАД НОВОЙ КНИГОЙ

НАУЧНЫЕ ЛИДЕРЫ
УРАЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА

© 2025 г. Е.Т. Артёмов^{а,*}, Н.П. Волошин^{б,**}

^аИнститут истории и археологии Уральского отделения РАН,
Екатеринбург, Россия

^бРоссийский Федеральный ядерный центр – ВНИИ технической физики
им. академика Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

*E-mail: iia-history@mail.ru

**E-mail: oteldou2@vniitf.ru

Поступила в редакцию 31.01.25 г.
После доработки 10.02.2025 г.
Принята к публикации 25.02.2025 г.

В статье дан обзор книг, вышедших в серии “Выдающиеся учёные Урала” (главный редактор серии академик РАН В.Н. Чарушин); они посвящены выдающимся учёным-атомщикам, членам Академии наук К.И. Щёлкину, Е.И. Забабахину, Б.В. Литвинову, Л.П. Феокистову, Е.Н. Аврорину. Книги содержат очерки профессиональной деятельности, общественной и личной жизни научных лидеров Российского федерального ядерного центра – ВНИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина, воспоминания коллег, учеников и близких, рассекреченные документы, прижизненные публикации и интервью самих учёных на общественно значимые темы, зарисовки мемуарного характера. Серия книг вносит весомый вклад в реконструкцию истории ядерно-оружейного комплекса России, многие страницы которой для широкой общественности по-прежнему остаются terra incognita.

Ключевые слова: К.И. Щёлкин, Е.И. Забабахин, Б.В. Литвинов, Л.П. Феокистов, Е.Н. Аврорин, ядерно-оружейный комплекс России, Российский федеральный ядерный центр – ВНИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина.

DOI: 10.31857/S0869587325030079, **EDN:** CUCBEW



АРТЁМОВ Евгений Тимофеевич – доктор исторических наук, главный научный сотрудник ИИиА УрО РАН. ВОЛОШИН Николай Павлович – доктор технических наук, помощник директора РФЯЦ–ВНИИТФ.

В 2025 г. атомная индустрия России отмечает своё 80-летие. Её создание и развитие сопровождались выдающимися прорывами в науке, технике, технологиях и производстве, стали весомым вкладом в обеспечение национальной безопасности страны [1]. Неслучайно история атомной отрасли вызывает заметный общественный интерес. Только за последние два с половиной десятилетия на эту тему вышли сотни публикаций – от фундаментальных трудов до популярных статей и очерков. Однако ряд аспектов становления атомного научно-производственного комплекса остаётся для широкой общественности во многом terra incognita. Речь, в частности, идёт о роли личности в создании ядерного оружия, о вкладе конкретных учёных и организаторов науки в достижение стратегического паритета ядерных вооружений с Соединёнными Штатами Америки.

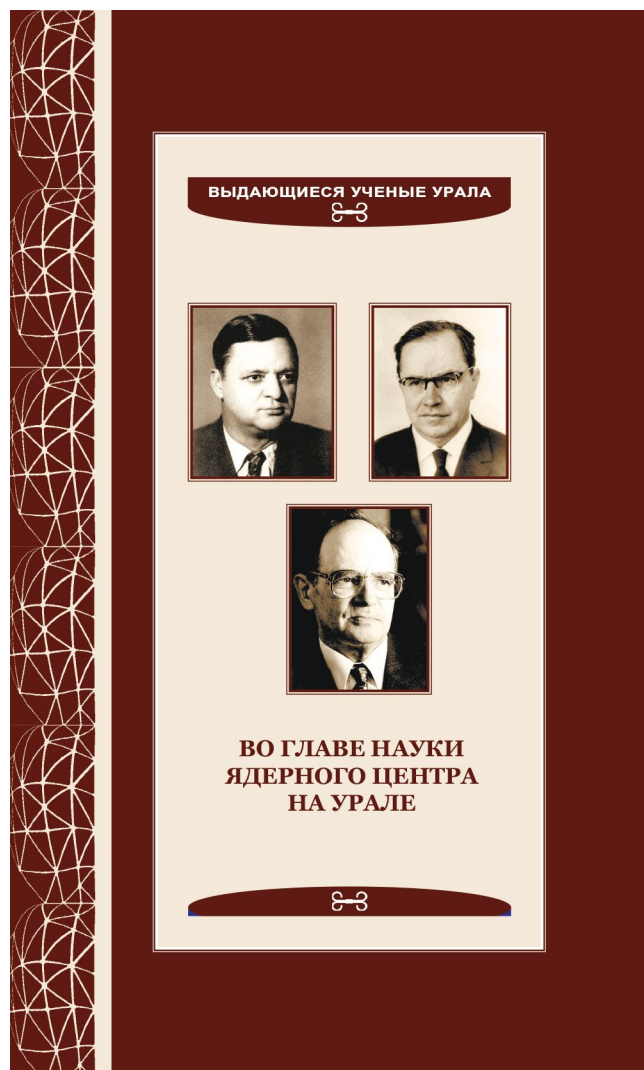
Вне сомнения, книги¹, подготовленные Российским федеральным ядерным центром – ВНИИ технической физики государственной корпорации по атомной энергии “Росатом” и Институтом истории и археологии УрО РАН, заметно восполняют этот пробел. Они посвящены выдающимся учёным-атомщикам К.И. Щёлкину, Е.И. Забабахину, Б.В. Литвинову, Л.П. Феокистову, Е.Н. Аврорину. Неспециалистам эти имена мало о чём говорят. Между тем история овладения атомной энергией, укрепления обороноспособности страны будет неполной, если не учитывать их вклад в развитие ядерно-физических исследований и создание новой техники специального назначения. Об этом свидетельствуют даже сугубо формальные биографические сведения [2, с. 9, 190, 306, 555, 607; 3, с. 311, 317, 323, 329].

Кирилл Иванович Щёлкин (1911–1968) – специалист в области горения и детонации в приложении к ядерным взрывам. В 1947–1955 гг. заместитель главного конструктора КБ-11 (ныне Российский федеральный центр – ВНИИ экспериментальной физики, г. Саров); с 1955 по 1960-е годы научный руководитель – главный конструктор НИИ-1011 (сегодня Российский федеральный ядерный центр – ВНИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина, г. Снежинск). Член-корреспондент АН СССР, трижды Герой Социалистического Труда, трижды лауреат Сталинской премии, лауреат Ленинской премии, кавалер трёх орденов Ленина, орденов Красной Звезды и Трудового Красного Знамени.

Евгений Иванович Забабахин (1917–1984) – специалист в области газодинамики, теории взрыва и ударных волн. В 1948–1955 гг. работал в КБ-11, с 1955 г. – в РФЯЦ–ВНИИ технической физики (заместитель научного руководителя – начальник теоретического сектора, научный руководитель). Генерал-лейтенант, академик АН СССР, Герой Социалистического Труда, трижды лауреат Сталинской премии, лауреат Ленинской премии, награждён пятью орденами Ленина, орденом Октябрьской революции, двумя орденами Трудового Красного Знамени.

Борис Васильевич Литвинов (1929–2010) – инженер-физик, специалист в области атомной науки и техники. В 1952–1961 гг. – научный сотрудник КБ-11, с 1961 г. – главный конструктор НИИ-1011, заместитель научного руководителя – начальник

¹ Борис Литвинов: грани личности / Авт.-сост. В.Н. Кузнецов. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2019. 464 с.; Во главе науки ядерного центра на Урале / Авт.-сост. Б.К. Водолага, Н.П. Волошин, В.Н. Кузнецов. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2020. 568 с.; Лев Феокистов: вспоминая прошлое, думал о будущем / Б.К. Водолага, В.Н. Кузнецов. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2022. 336 с.; Кирилл Щёлкин: самый неизвестный из известных / Б.К. Водолага, В.Н. Кузнецов. М.: Российская академия наук, 2024. 512 с.



Обложка книги, посвящённой лидерам Уральского ядерного центра

лаборатории РФЯЦ–ВНИИ технической физики. Академик РАН, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Демидовской премий, кавалер трёх орденов Ленина, ордена Октябрьской революции, Трудового Красного Знамени, орденов “За заслуги перед Отечеством” II, III и IV степени.

Лев Петрович Феокистов (1928–2002) – физик-теоретик, специалист в области ядерной физики и техники. В 1951–1955 гг. – научный сотрудник КБ-11, с 1955 по 1977 г. – начальник отдела, сектора, первый заместитель научного руководителя НИИ-1011, затем – начальник отдела, заместитель директора Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, начальник отдела Физического института им. П.Н. Лебедева РАН. Академик РАН, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий, награждён двумя орденами Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденами Октябрьской революции, “За заслуги пе-

ред Отечеством” IV степени, почётный академик Европейской Академии наук, искусств и литературы.

Евгений Николаевич Аврорин (1932–2018) – физик-теоретик. Трудовую деятельность начал в КБ-11 в 1955 г. В том же году переведён в НИИ-1011, где прошёл путь от рядового научного сотрудника до начальника научно-теоретического отдела, научно-го руководителя – директора, почётного научного руководителя РФЯЦ–ВНИИ технической физики. Академик РАН, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Демидовской премий, награждён орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, “За заслуги перед Отечеством” II и III степени.

Разумеется, детальная характеристика научных достижений этих учёных не предназначена для открытой печати. Именно поэтому книги, о которых идёт речь, не являются полноценными биографиями. По своей структуре они представляют собой сборники различных материалов: кратких очерков профессиональной деятельности, общественной и личной жизни научных лидеров РФЯЦ–ВНИИ технической физики, воспоминаний коллег, учеников и близких, рассекреченных документов, прижизненных публикаций и интервью самих учёных на общественно значимые темы, зарисовок мемуарного характера. Несмотря на такую разнородность содержания, книги в целом дают общую картину жизненного пути, деловых и личных качеств людей, благодаря которым наша страна заняла передовые позиции в области ядерно-физических исследований и разработок оборонного характера. Важно отметить ещё одно обстоятельство. Профессиональная деятельность научных лидеров РФЯЦ–ВНИИТФ была неразрывно связана со становлением и деятельностью института, который в 2025 г. отмечает свой юбилей – 70 лет со дня основания².

Сегодня РФЯЦ–ВНИИ технической физики – один из действующих ядерно-оружейных центров России (наряду с РФЯЦ–ВНИИ экспериментальной физики и ВНИИ автоматики им. Н.Л. Духова). Присутствие в его названии слова “институт” весьма условно. На деле это комплекс исследовательских и конструкторских организаций, опытных производств и инфраструктурных подразделений с многотысячным коллективом. Его предназначение – решение научно-технических проблем разработки и доказательства работоспособности ядерных зарядов (ЯЗ) и ядерных боеприпасов (ЯБП) стратегического и тактического назначения, мирного использования ядерной и термоядерной энергии, проведение фундаментальных и прикладных исследова-

ований в области газодинамики, турбулентности и физики высоких плотностей энергии. РФЯЦ–ВНИИТФ осуществляет авторский и гарантийный надзор за ЯЗ и ЯБП на всех этапах их жизненного цикла – от разработки конструкции и серийного производства изделий до демонтажа и утилизации основных составляющих узлов. Он обеспечивает сопровождение эксплуатируемого в войсках ядерного оружия, около половины которого, как и в советское время, составляют разработки института [4, с. 7, 8]. Так что профессиональные биографии его научных лидеров – это своего рода путеводители по истории РФЯЦ–ВНИИТФ, да и всего отечественного ядерно-оружейного комплекса.

В числе научных лидеров уральского ядерного центра особое место занимает К.И. Щёлкин. К работам по ядерному оружию его привлекли на начальной стадии атомного проекта. Тогда в пос. Сарове Горьковской области создавался первый ядерно-оружейный центр страны – КБ-11. В марте 1947 г. Щёлкина назначили заместителем главного конструктора и научного руководителя КБ Ю.Б. Харитона. В этом качестве он возглавил работы по физическим исследованиям и газодинамической отработке первых советских ядерных зарядов. Такой выбор, конечно, был неслучайным. К тому времени Щёлкин уже зарекомендовал себя крупным учёным в области газодинамических процессов, имеющих критически важное значение при конструировании ядерных зарядов. Научную карьеру он начал в 1932 г. в Институте химической физики АН СССР. Здесь же в 1938 г. защитил кандидатскую, а в 1946 г. докторскую диссертацию. Правда, в его научной работе был перерыв. В первые дни войны Кирилл Иванович ушёл добровольцем на фронт, участвовал в битве под Москвой. В начале 1942 г. его отозвали с фронта для продолжения научной работы. В КБ-11 в полной мере проявился талант Щёлкина как учёного и организатора масштабных исследований. За выдающийся вклад в создание первых образцов ядерного и термоядерного оружия он был трижды удостоен звания Героя Социалистического Труда и трижды лауреата Сталинской премии [5, с. 12–15]. Когда возник вопрос об организации второго ядерно-оружейного центра, научный лидер атомного проекта академик И.В. Курчатов рекомендовал назначить на должность его научного руководителя и главного конструктора К.И. Щёлкина [6, с. 238, 239].

Датой основания РФЯЦ–ВНИИТФ считается 5 апреля 1955 г., когда во исполнение постановления Совета Министров СССР вышел соответствующий приказ Министра среднего машиностроения. Он гласил: “В целях усиления работ по разработке новых типов атомного и водородного оружия и создания условий для роста научно-исследовательских кадров в этой отрасли... определить основными задачами НИИ–1011... разработку атомных и водородных бомб различной конструкции и специ-

² Институт неоднократно менял своё наименование. В 1955–1966 гг. он назывался НИИ–1011; в 1966–1993 гг. – ВНИИ приборостроения; в 1993–1999 гг. – РФЯЦ–ВНИИ технической физики; с 1999 г. по настоящее время – Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт имени академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ–ВНИИТФ).



Обложка книги, посвящённой К.И. Щёлкину

альных зарядов для различных видов атомного и водородного вооружения” [7, с. 341]. Научным руководителем и главным конструктором НИИ-1011, как и намечалось, был назначен Щёлкин. Он находился на этом посту около пяти лет. За эти годы институт стал не просто дублёром КБ-11, как представлялось вначале, а самостоятельным, авторитетным и продуктивным центром по оснащению Вооружённых сил СССР новейшим ядерным оружием. Уже в 1957 г. в институте был разработан и испытан первый термоядерный заряд, принятый на вооружение Советской армией и ставший прототипом всех последующих изделий такого рода. За эту работу шесть сотрудников НИИ-1011 — К.И. Щёлкин, Е.И. Забабахин, Ю.А. Романов, Л.В. Феокистов, М.П. Шумаев, В.Ф. Гречишников — были удостоены учреждённой тогда Ленинской премии [5, с. 70–72, 81–86, 152]. Всего же за 1955–1960 гг. в институте были созданы и поступили на вооружение четыре термоядерных заряда в составе двух авиабомб, крылатой ракеты, баллистической ракеты морского базирования со стартом с подводной лодки [4, с. 9].

Под руководством К.И. Щёлкина был разработан уникальный сверхмощный термоядерный заряд. Его

натурные испытания не проводились. Но ряд элементов его конструкции был использован КБ-11 при испытании в 1961 г. самого мощного термоядерного заряда в истории (мощностью 50 Мт). Однако Щёлкин считал, что ставка на гигантоманию не имеет перспектив. На всех уровнях он отстаивал идею миниатюризации изделий как магистрального направления развития ядерного оружия. И это несмотря на то, что первый руководитель страны Н.С. Хрущёв всячески поддерживал разработку крупногабаритных и сверхмощных ядерных зарядов. Надо сказать, что отношения Щёлкина с руководящими инстанциями складывались весьма непросто. Разногласия имели место уже при определении местоположения НИИ-1011 [5, с. 75–76], затем они коснулись видения этого будущего НИИ. Щёлкин считал, что на базе института следует создать комплекс исследовательских и учебных институтов широкого физического профиля. Но это предложение не нашло поддержки ни у высшего руководство, ни в Министерстве среднего машиностроения [4, с. 9, 10; 5, с. 492–499].

По многочисленным свидетельствам коллег и близких, множавшиеся разногласия с “инстанциями” побудили К.И. Щёлкина в 49 лет уйти на пенсию “по состоянию здоровья”. В 1960 г. он вернулся в свой родной Институт химической физики АН СССР. Здесь Кирилл Иванович продолжил исследования фундаментальных проблем газодинамики горения, совершив по словам своего преемника в НИИ-1011 Е.И. Забабахина “редкий подвиг”, сумев вернуться к “личному творчеству” [5, с. 139]. Кроме того, Кирилл Иванович основал кафедру горения в Московском физико-техническом институте, читал там лекции, много внимания уделял популяризации науки. Жизнь Щёлкина оборвалась в ноябре 1968 г., и только тогда его имя и фотография были впервые опубликованы в газете “Правда”. Главное дело жизни Кирилла Иванович — уральский ядерный центр — продолжал наращивать темпы и объёмы работ по основной тематике [5, с. 95–97, 172–178].

После ухода К.И. Щёлкина на пенсию было принято решение о разделении функций научного руководителя и главного конструктора — с учётом их растущего масштаба. Так в Институте вместо одной появились три должности: научный руководитель, главный конструктор по разработке ядерных зарядов и главный конструктор по разработке ядерных боеприпасов. Научным руководителем НИИ-1011 назначили Е.И. Забабахина. Свою профессиональную карьеру он начал в Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского, которую окончил в 1944 г. Там же защитил кандидатскую диссертацию по теме “Исследования процессов в сходящейся детонационной волне”. В 1948 г. его откомандировали в КБ-11, где он быстро приобрёл репутацию одного из самых авторитетных специалистов по

расчётам и экспериментальным методам газодинамики взрыва. Здесь Забабахин стал Героем Социалистического Труда, трижды лауреатом Сталинской премии. В 1953 г. ему по представлению И.В. Курчатова, без защиты диссертации, была присуждена учёная степень доктора физико-математических наук. А в апреле 1955 г. Евгения Ивановича назначили заместителем научного руководителя НИИ—1011 по расчётно-теоретическим вопросам. В этом качестве он внёс весомый вклад в развитие основных направлений деятельности института. Накопленный тогда задел создал надёжную основу для масштабного расширения работ по основной тематике. Достаточно сказать, что в период научного руководства Е.И. Забабахина ВНИИТФ провёл 271 ядерный взрыв, включая взрывы мирного назначения [8, с. 211–216].

Глубокое понимание тенденций развития ядерного оружия позволило Евгению Ивановичу последовательно проводить линию на миниатюризацию изделий. Уже в середине 1960-х годов началась разработка нового типа атомных зарядов. В результате удалось значительно уменьшить габариты и вес термоядерных боеприпасов, которыми вооружались стратегические ракетные комплексы наземного и подводного базирования. Другим направлением работ стало создание ЯЗ для тактических комплексов — самолётов-носителей авиабомб, баллистических и крылатых ракет авиационного и корабельного базирования, торпед и артиллерийских систем. Широкий спектр возможного применения изделий предъявлял особые требования к их конструкции. Не менее сложной оказалась задача создания специальных зарядов для противоракетной обороны. Но коллектив института успешно справился и с ней. Все стоящие на этом пути трудности удалось преодолеть благодаря постоянному генерированию оригинальных научных идей и конструкторских решений [8, с. 218–230]. Институт внёс заметный вклад в достижение Советским Союзом ядерного паритета с Соединёнными Штатами, что стало свершившимся фактом в 1970-е годы.

Разумеется, в работе по оборонной тематике институт тесно взаимодействовал с разработчиками носителей ядерного оружия. Особенно плодотворное сотрудничество поддерживалось с СКБ—385, которое занималось конструированием баллистических ракет для подводных лодок (ныне Государственный ракетный центр им. В.П. Макеева, г. Миасс). Ядерные боеприпасы для подводных лодок разрабатывались исключительно ВНИИТФ. Слаженной работе уральских ядерного и ракетного центров способствовало тесное личное взаимодействие их руководителей. Оно началось практически с первых лет оснащения стратегических средств морского базирования ядерным оружием. Это облегчало поиск оптимальных путей создания уникальных систем вооружения [8, с. 339–341; 9, с. 117, 122, 123]. Одновременно с оборонной тематикой ВНИИТФ развер-

нул масштабные работы по использованию ядерно-взрывных технологий в мирных целях, идеологом и инициатором которых был Забабахин. Созданные по этой программе специальные ядерно-взрывные устройства (ЯВУ) нашли широкое применение при решении различных народно-хозяйственных задач: при строительстве каналов и плотин, вскрышных работах для добычи полезных ископаемых, дробления рудных тел, образования подземных полостей для захоронения вредных отходов производства, интенсификации нефте- и газодобычи, глубинного сейсмического зондирования и т.п. По этому направлению ВНИИТФ стал признанным лидером. Из проведённых в СССР 124 мирных ядерных взрывов в 75 случаях были использованы его устройства. И сегодня институт остаётся единственной организацией, сохранившей возможности модернизации и создания новых специализированных ЯВУ мирного применения [3, с. 320].

Надо сказать, что разработки ВНИИТФ, выполненные под научным руководством Е.И. Забабахина, характеризовались рекордными параметрами. По всей видимости, до сих пор их не удалось превзойти ни одной из ядерных держав. Дело в том, что рекордные показатели были получены на пределе, допускаемом законами ядерной физики. Попытки превзойти их могут привести к созданию конструкций, опасных в производстве и эксплуатации.

К уникальным изделиям, разработанным при научном руководстве Е.И. Забабахина, относятся:

- самый лёгкий и малогабаритный боеприпас для стратегических ядерных сил;
- самый малогабаритный ядерный артиллерийский снаряд;
- самый ударостойкий ядерный заряд для авиабомбы;
- самый экономичный по расходу ядерных материалов атомный заряд;
- самый маломощный заряд-облучатель;
- самое прочное и термостойкое ЯВУ для промышленного применения;
- самое чистое ЯВУ для использования в мирных целях, в котором 99.85% энергии взрыва получают за счёт синтеза лёгких ядер [8, с. 221].

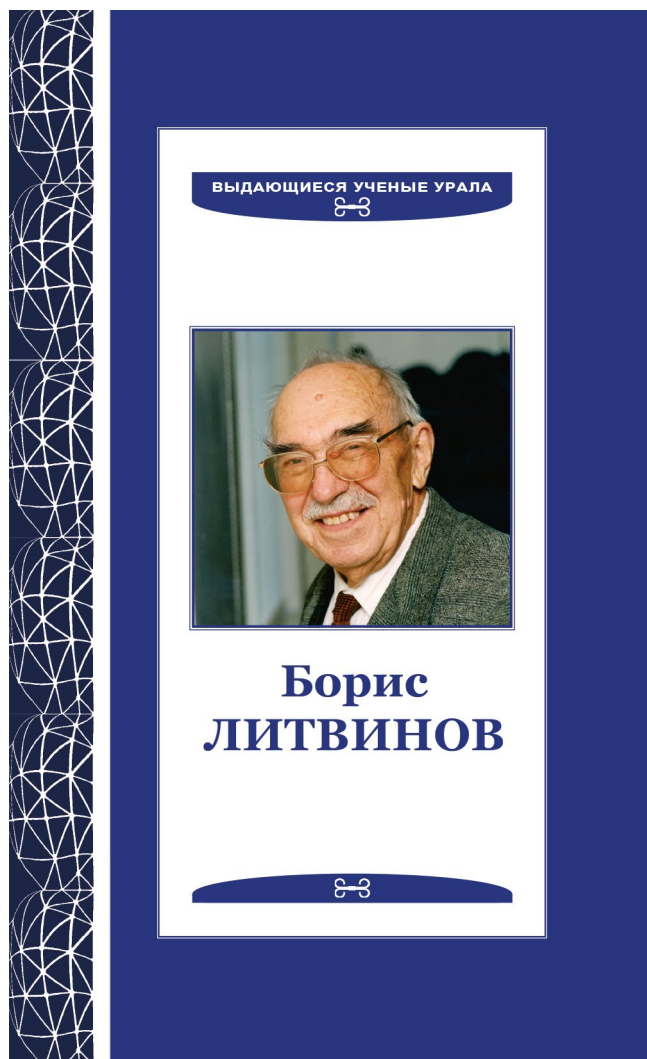
Несмотря на исключительную занятость в оборонных и промышленных программах, Е.И. Забабахин находил время для занятий фундаментальными исследованиями, удачно сочетая глубину теоретических разработок с их экспериментальной проверкой. Круг научных интересов Евгения Ивановича был очень широк. Он включал исследования ряда гидродинамических и электромагнитных явлений, вопросы протекания фазовых превращений в динамических процессах, задачи обтекания тел, моделирования получения экспериментальных состояний вещества в динамических процессах и в статических

условиях, процессы схождения ударных волн и схлопывания пузырьков. И хотя работы Забабахина немногочисленны (около двух десятков публикаций в открытой печати), фактически каждая из них посвящена оригинальной проблеме, изучению класса явлений, не затронутых другими исследованиями. Особое внимание Евгений Иванович уделял фундаментальной проблеме устойчивости неограниченной кумуляции. За цикл работ по этой тематике Президиум Академии наук СССР награждал его одной из самых высоких своих наград — золотой медалью им. М.В. Келдыша [8, с. 242, 243]. Признанием выдающегося вклада Евгения Ивановича в решение научно-технических задач оборонного профиля, развитие ядерно-оружейного комплекса страны стало присвоение в 1998 г. Российскому федеральному ядерному центру — Всероссийскому НИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина.

После К.И. Щёлкина, главным конструктором по первому направлению — разработке ядерных зарядов — стал Б.Н. Леденёв. Но на этой должности он пробыл совсем недолго, около года. В 1961 г. его назначили директором НИИ—1011. А главным конструктором ЯЗ стал Б.В. Литвинов, который оставался в этой должности, с небольшими перерывами, до 1997 г. Начало профессиональной деятельности Бориса Васильевича проходило в КБ—11, куда его распределили после окончания Московского механического института (ныне Московский инженерно-физический институт) в 1952 г. Он подключился к исследованиям газодинамических процессов, происходящих при ядерном взрыве. Его работа в этом направлении оказалась востребована при создании первого советского двухстадийного термоядерного заряда РДС-37. По итогам испытания изделия в ноябре 1955 г. совсем молодой исследователь был награждён орденом Трудового Красного Знамени. А ко времени перевода в НИИ—1011 Б.В. Литвинов уже стал заместителем начальника одного из основных подразделений КБ—11 — газодинамического сектора [3, с. 324]. На новом месте работы он сразу включился в реализацию программы ядерных испытаний. Она была призвана сократить заметное отставание от Соединённых Штатов в разработке термоядерных зарядов [10, с. 125—139] — отсюда её масштабы. С 1 сентября 1961 г. по 25 декабря 1962 г. СССР провёл 138 ядерных взрывов. Из них 49 испытаний пришлось на долю НИИ—1011, в том числе 11 мощных и сверхмощных. Однако, как уже говорилось, в институте считали, что у таких изделий нет будущего. Дело в том, что избыточная мощность уменьшает эффективность ядерных боеприпасов и систем вооружения. К тому же по своим весовым характеристикам они плохо вписывались в существовавшие на тот момент и разрабатываемые носители. Поэтому институт сделал ставку на миниатюризацию изделий, повышение их удельной мощности.

Такая смена приоритетов потребовала существенного изменения физических схем ядерных зарядов и конструкции ядерных боеприпасов. Эта задача решалась совместными усилиями всех подразделений ВНИИТФ при тесном сотрудничестве с разработчиками носителей ядерного оружия. В результате были созданы более лёгкие, но достаточно мощные и надёжные термоядерные заряды для баллистических ракет с подводным стартом и наземного базирования, авиационные и корабельные крылатые ракеты, авиабомбы стратегической и фронтовой авиации, атомные артиллерийские снаряды, ЯВУ промышленного назначения. Разумеется, весомый вклад в их разработку внесли конструкторские подразделения, которые возглавлял Б.В. Литвинов. Особое внимание он уделял вопросам безопасного обращения с ядерными зарядами на протяжении всего их жизненного цикла. По его инициативе в институте создали отраслевую лабораторию по надзору за взрывобезопасностью разработки, испытания, производства, транспортировки и хранения групп ЯЗ и ЯБП [10, с. 183—202]. Опыт промышленного применения термоядерных взрывов привёл Бориса Васильевича вместе с коллегами к идее разработки основ взрывной дейтериевой энергетики (ВДЭ). Она позволяет получить ключевую долю энергии в реакции синтеза ядер дейтерия, инициируемой маломощным атомным запалом, делительная энергия которого в десятки раз меньше получаемой в этой реакции. Основное преимущество ВДЭ по сравнению с традиционными направлениями развития термоядерной энергетики — наличие практически неограниченных запасов дейтерия на планете (в воде), в то время как во всех современных проектах термоядерного синтеза используется смесь дейтерия с тритием, который, как известно, — искусственно создаваемый продукт. Ещё одно преимущество ВДЭ — возможность наработки из сырьевого материала (Th-232 или U-238) делящегося материала (U-233 или Pu-239) для изготовления маломощных запалов [11].

В 1997 г. Литвинов ушёл с поста главного конструктора, но оставался на “боевом посту” до последних дней своей жизни, являясь заместителем научного руководителя ВНИИТФ. Одновременно он возглавлял специальную лабораторию, которая занималась обобщением опыта разработки ядерных боезарядов, представляя его в доступном виде новому поколению исследователей и конструкторов. Вместе с коллегами и самостоятельно Борис Васильевич подготовил ряд публикаций в открытой печати о будущем атомной энергетики, мирных ядерных взрывах, сжатии металлов и минералов сферическими ударными волнами, курс лекций об основах инженерной деятельности, ряд зарисовок мемуарного характера. Всего творческое наследие Б.В. Литвинова насчитывает более 200 научно-технических отчетов и около 250 статей и докладов [3, с. 327]. Особый интерес представляют его опубликованные [12, 13]



Обложка книги, посвящённой Б.В. Литвинову

и не публиковавшиеся ранее размышления и воспоминания о своём жизненном пути, об учёных, конструкторах, руководителях атомной отрасли, с которыми Борис Васильевич тесно взаимодействовал. Они составляют значительную часть рецензируемой книги и многое проясняют в истории ядерно-оружейного комплекса страны.

Одна из книг серии посвящена Льву Петровичу Феокистову. К работе над созданием ядерного оружия его привлекли сразу после окончания Московского университета в 1951 г. Профессиональную деятельность он начал в теоретическом отделе КБ–11. Здесь он получил свою первую правительственную награду — орден Трудового Красного Знамени. Так отметили его участие в разработке РДС-37 — первого отечественного заряда, основанного на принципе радиационного обжаривания. В 1955 г. Феокистова перевели в НИИ–1011, где он проработал 23 года, пройдя путь от рядового сотрудника до первого за-

местителя научного руководителя — начальника отделения. Уже в 1958 г. Феокистов в числе ведущих сотрудников института был удостоен звания лауреата Ленинской премии за разработку первых термоядерных зарядов, поступивших на вооружение Советской армии. Дальнейшие теоретические исследования Льва Петровича внесли существенный вклад в их совершенствование. Его идеи, отработанные в ходе сессий ядерных испытаний 1961–1962 гг., были использованы при создании самого лёгкого заряда класса 10 Мт для стратегического комплекса Р-36. А в середине 1960-х годов Феокистов предложил новую схему первичного узла термоядерного заряда, которая давала существенное уменьшение его габаритов и веса [9, с. 121, 122]. Это стало важным вкладом в разработку систем вооружения с разделяющимися головными частями индивидуального наведения и позволило добиться ядерного паритета с Соединёнными Штатами.

Идеи Л.П. Феокистова использовались при разработке зарядов по программе “Ядерные взрывы для народного хозяйства” (1965–1988). Он был инициатором и участником ряда физических опытов, направленных на изучение процессов термоядерного горения и термоядерной детонации, воздействия излучения ядерного взрыва на материалы, исследование свойств вещества в экстремальных условиях [14, с. 14, 15]. К сожалению, большая часть результатов этих работ не может быть опубликована. Но по свидетельству ведущих разработчиков ядерного оружия, Льву Петровичу принадлежит ряд основополагающих идей, которые составляют основу едва ли не большей части российского ядерного арсенала. В этом отношении он “занимает исключительное место в кругу столпов отечественной ядерной отрасли, не бедной на таланты” [14, с. 182].

В конце 1970-х годов научные интересы Льва Петровича претерпели заметное изменение. Это стало одной из причин его перевода сначала в Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова, а затем — в Физический институт им. П.Н. Лебедева АН СССР. Здесь он занимался проблемами инерциального термоядерного синтеза, электромагнитного излучения, продолжил работу над созданием различных вариантов ядерных и термоядерных реакторов, начатую им ещё во ВНИИТФ. Несмотря на вовлечённость в исследования по ядерно-оружейной тематике, в последние годы жизни Феокистов выступал за радикальное сокращение атомного оружия вплоть до полной его ликвидации. В развёрнутом виде он обосновал эти взгляды в своих воспоминаниях и размышлениях [15, 16], фрагменты которых составляют значительную часть рецензируемой книги. Они интересны, поскольку содержат уникальные сведения о совершенствовании ядерного оружия, вкладе отдельных учёных и особенностях их взаимодействия в ходе решения научно-технических задач.



Обложка книги, посвящённой Л.П. Феоктистову

В отличие от Л.П. Феоктистова, Е.Н. Аврорин не оставил развёрнутых воспоминаний о своём жизненном пути. Рецензируемая книга в значительной мере восполняет их отсутствие. Опубликованные в ней материалы дают представление о высочайшем профессионализме, широте эрудиции, незаурядных деловых и личных качествах человека, который без преувеличения внёс выдающийся вклад в развитие ядерно-физических исследований, создание новой техники специального назначения. Другими словами, Аврорин как учёный и организатор оборонной науки был непосредственно причастен к укреплению национальной безопасности страны, много сделал для упрочения её позиций на мировой арене [8, с. 373].

Свою профессиональную карьеру Евгений Николаевич начал в феврале 1955 г. в КБ–11, куда его распределили после окончания физического факультета МГУ. Он сразу подключился к работе над

первым советским двухстадийным термоядерным зарядом РДС–37. А уже в июле 1955 г. он в числе 15 теоретиков подписал отчёт “Опытное устройство для проверки принципа окружения (расчётно-теоретические работы)”. Заряд испытали в ноябре того же года. За участие в его разработке Аврорин был награждён орденом Трудового Красного Знамени. Но произошло это, когда он уже работал в НИИ–1011. Там ему практически сразу поручили самостоятельную работу – редакцию физического опыта, призванного прояснить, почему при подрыве РДС–37 раньше, чем рассчитывали, сработал основной энерговыделяющий узел. С этой задачей Аврорин успешно справился. Полученные результаты натурального эксперимента имели чрезвычайно важное значение для дальнейшей работы над термоядерными зарядами. По оценке самого Евгения Николаевича, физический опыт 1957 г. стал важной вехой в его становлении как учёного и руководителя [8, с. 496, 497]. Дальше всё шло по восходящей линии. В 1964 г. Е.Н. Аврорин был назначен начальником теоретического отдела, а в 1978 г. – теоретического отделения ВНИИ приборостроения.

Для ВНИИТФ 1970–1980-е годы стали, пожалуй, временем наиболее интенсивной работы по основной тематике. Необходимость достижения, а затем поддержания ядерного паритета с Соединёнными Штатами диктовала соответствующую логику действий. Главные усилия коллектива были сосредоточены на повышении удельных характеристик ядерных зарядов, обеспечении их живучести и безопасности, разработке широкой линейки изделий стратегического и тактического назначения, системы противоракетной обороны. В эти годы институт передал на вооружение Советской армии новые авиабомбы для сверхзвуковых стратегических бомбардировщиков ТУ–160 и самолётов фронтовой авиации; оснастил ядерными боевыми частями стратегические (Х–55) и тактические (“Малахит”, “Базальт”, “Гранит”, “Гранат”) крылатые ракеты; разработал малокалиберный снаряд и, самое главное, обеспечил комплектацию ядерными боеголовками пять типов ракетных стратегических комплексов (Д–5У, Д–9 РК, Д–19 У, Д–9 У, Д–9 РМУ) атомных подводных ракетоносцев.

Одновременно шло совершенствование ядерно-взрывных устройств, предназначенных для решения народно-хозяйственных задач и проведения фундаментальных исследований. Напряжённая работа коллектива института получила заслуженное признание. За разработку ядерных зарядов и ядерных боеприпасов, создание и применение ядерно-взрывных устройств мирного назначения 11 сотрудников были удостоены звания лауреатов Ленинской, а 150 – Государственной премии СССР [9, с. 125]. Разумеется, весомый вклад в эти достижения внесли теоретики, в том числе Е.Н. Аврорин – и как физик-исследователь, и как руководитель ряда важнейших расчётно-теоретических работ.

В 1985 г. после кончины Е.И. Забабахина Евгений Николаевич был назначен научным руководителем ВНИИ приборостроения, а в середине 1990-х годов ему пришлось одновременно в течение двух лет исполнять ещё и обязанности директора ВНИИТФ. Это было тяжёлое время. Резкое сокращение оборонных программ поставило коллектив института на грань выживания. В те годы неоднократно обсуждался вопрос о закрытии ВНИИ технической физики или его объединении с ВНИИ экспериментальной физики. Евгений Николаевич иногда спокойно, а иногда и эмоционально, но всегда аргументированно обосновывал неразумность такого шага, угрожающего обернуться утратой технологического суверенитета в критически важном направлении научно-технического прогресса. Подобные разговоры прекратились только после выездного заседания коллегии Минатома России с участием Президента РФ В.В. Путина, состоявшегося в РФЯЦ–ВНИИТФ в марте 2000 г. [8, с. 412]. Так что сохранение института для страны можно рассматривать как главный результат работы Евгения Николаевича на посту научного руководителя и директора. Но этим дело не ограничилось.

В трудные постперестроечные годы под руководством Е.Н. Аврорина была проведена диверсификация деятельности института. С одной стороны, это была вынужденная мера, с другой — ещё К.И. Щёлкин настаивал на расширении его тематики. Теперь в этом направлении был сделан важный шаг. Появились новые темы фундаментальных и прикладных исследований. Коллектив включился в выполнение договорных работ, предусматривавших применение накопленного задела по оборонной тематике в открытых областях науки и техники. Такой манёвр позволил повысить устойчивость института. Параллельно принимались меры по поддержанию на должном уровне работ по основной тематике. На Новоземельском полигоне стали проводить взрывные неядерные эксперименты в интересах повышения надёжности и совершенствования ядерного боезапаса. Были установлены партнёрские отношения со многими отечественными и зарубежными организациями различного научно-технического профиля. Так, ВНИИТФ наладил плодотворное сотрудничество с Уральским отделением РАН, начиная с Института физики металлов и заканчивая Институтом истории и археологии. В этом тоже несомненная заслуга Е.Н. Аврорина, всегда отличавшегося широтой взглядов [8, с. 388–390].

Несмотря на огромную занятость, Евгений Николаевич всегда находил время для научных исследований, причём круг его интересов не ограничивался ядерно-оружейной тематикой. Аврорин внёс весомый вклад в развитие ряда перспективных направлений фундаментальной науки. Широкое признание получили выполненные им исследования в области лазерного термоядерного синтеза (ЛТС), изучение свойств вещества при сверхвысоких тем-

пературах и давлениях, создания научных основ конструирования гибридных ядерных реакторов для ЛТС. Он уделял большое внимание таким общественно значимым вопросам, как нераспространение ядерного оружия, альтернативные направления развития ядерной энергетики. О широте и результатах научного поиска Евгения Николаевича свидетельствует библиография опубликованных им работ, насчитывающая 130 позиций [8, с. 541–550].

Нет сомнения в том, что успехи на профессиональном поприще всегда связаны с личными качествами человека. Наглядней всего они проявляются в неформальной обстановке. Поэтому вполне оправданно включение в рецензируемые книги воспоминаний, которые дают представление о повседневной жизни научных лидеров ВНИИТФ, их интересах и увлечениях, отношениях с родными, близкими, друзьями и коллегами. Судя по опубликованным материалам, они, конечно, были разными людьми. Но было и то, что их объединяло: ярко выраженная индивидуальность и цельность личности, высокая степень ответственности за порученное дело. Это ценные качества. Они являются залогом успеха в любом деле, и биографии научных лидеров уральского ядерного центра наглядно подтверждают справедливость такого вывода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Академия наук и атомная отрасль. Научные сессии Общего собрания членов РАН и Общих собраний Отделений РАН, декабрь 2020 г. / Под ред. Акад. РАН Б.Ф. Бондура, акад. РАН Г.Н. Рыкованова, чл.-корр. РАН А.А. Макоско. М.: Российская академия наук, 2021.
The Academy of Sciences and the Nuclear Industry. Scientific Sessions of the General Meeting of RAS Members and General Meetings of RAS Branches, December 2020 / Ed. by RAS Academician B.F. Bondur, RAS Academician G.N. Rykovanov, RAS Corresponding Member A.A. Makosko. Moscow: Russian Academy of Sciences, 2021. (In Russ.)
2. Атомное оружие России. Биографическая энциклопедия. М.: Столичная энциклопедия, 2012.
Atomic weapons of Russia. Biographical encyclopedia. Moscow: Stolichnaya Encyclopedia, 2012. (In Russ.)
3. Военно-промышленная комиссия. 60 лет на страже Родины. М.: Изд. дом “Оружие и технологии”, 2017.
Military-Industrial Commission. 60 years on guard of the Motherland. Moscow: Publishing house “Weapons and Technologies”, 2017. (In Russ.)
4. Рыкованов Г.Н., Аврорин Е.Н., Артёмов Е.Т., Волошин Н.П., Никитин В.И. Федеральное государственное унитарное предприятие “Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики (РФЯЦ — ВНИИ технической физики

- имени академика Е.И. Забабахина” // Атомные города Урала. Город Снежинск: Энциклопедия. Екатеринбург: БКИ, 2009. С. 7–23.
- Rykovanov G.N., Avrorin E.N., Artemov E.T., Voloshin N.P., Nikitin V.I.* Federal State Unitary Enterprise “Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Technical Physics (RFNC – All-Russian Research Institute of Technical Physics named after Academician E.I. Zababakhin)” // Atomic Cities of the Urals. City of Snezhinsk: Encyclopedia. Yekaterinburg: BKI, 2009. P. 7–23. (In Russ.)
5. Самый неизвестный из известных / Водолага Б.К., Кузнецов В.Н. М.: РАН, 2024.
The most unknown of the known / Vodolaga B.K., Kuznetsov V.N. M.: RAS, 2024. (In Russ.)
 6. Артёмов Е.Т. Атомный проект в координатах сталинской экономики. М.: Политическая энциклопедия, 2017.
Artyomov E.T. Atomic project in the coordinates of Stalin’s economy. Moscow: Political Encyclopedia, 2017. (In Russ.)
 7. Атомный проект СССР: документы и материалы: в 3 т. Т. 3: Водородная бомба. 1945–1956, кн. 2 / Под общ. ред. Л.Д. Рябева. М.: Физматлит; Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2009.
The USSR Atomic Project: Documents and Materials: in 3 volumes. Volume 3: Hydrogen Bomb. 1945–1956, Book 2 / Under the general editorship of L.D. Ryabev. Moscow: Fizmatlit; Sarov: RFNC-VNIIEF, 2009. (In Russ.)
 8. Во главе науки ядерного центра на Урале / Авторы-сост. Б.К. Водолага, Н.П. Волошин, В.Н. Кузнецов. Екатеринбург: БКИ, 2020.
At the Head of Science at the Nuclear Center in the Urals / Authors-compilers B.K. Vodolaga, N.P. Voloshin, V.N. Kuznetsov. Ekaterinburg: BKI, 2020. (In Russ.)
 9. Рыкованов Г.Н., Аврорин Е.Н. Ядерное оснащение морских стратегических ударных сил // Вооружение России. Т. 2. Вооружение России на рубеже веков. М.: Изд. дом “Оружие и технологии”, 2011.
Rykovanov G.N., Avrorin E.N. Nuclear equipment of naval strategic strike forces // Armament of Russia. Vol. 2. Armament of Russia at the turn of the century. Moscow: Publishing house “Arms and Technologies”, 2011. (In Russ.)
 10. Борис Литвинов: грани личности / Автор-сост. В.Н. Кузнецов. Екатеринбург: БКИ, 2019.
Boris Litvinov: Facets of Personality / Author-compiler V.N. Kuznetsov. Ekaterinburg: BKI, 2019. (In Russ.)
 11. Взрывная дейтериевая энергетика / Г.А. Иванов, Н.П. Волошин, А.С. Ганеев, Ф.П. Крупин, С.Ю. Кузьминых, Б.В. Литвинов, А.И. Свалухин, Л.И. Шибаршов. Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2004.
Explosive deuterium energetics / G.A. Ivanov, N.P. Voloshin, A.S. Ganeev, F.P. Krupin, S.Yu. Kuzminykh, B.V. Litvinov, A.I. Svalukhin, L.I. Shibarshov. Snezhinsk: Publishing house of RFNC-VNIITF, 2004. (In Russ.)
 12. Литвинов Б.В. Атомная энергия не только для военных целей. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002.
Litvinov B.V. Atomic energy not only for military purposes. Ekaterinburg: Publishing house of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002. (In Russ.)
 13. Литвинов Б.В. Грани прошедшего (триптих). М.: Изд-во АТ, 2006.
 14. *Litvinov B.V.* Facets of the Past (triptych). Moscow: Publishing House AT, 2006. (In Russ.)
 15. Лев Феоктистов: вспоминая прошлое, думал о будущем / Б.К. Водолага, В.Н. Кузнецов. Екатеринбург: БКИ, 2022.
Lev Feoktistov: remembering the past, thinking about the future / B.K. Vodolaga, V.N. Kuznetsov. Ekaterinburg: BKI, 2022. (In Russ.)
 16. Феоктистов Л.П. Из прошлого в будущее: от надежд на бомбу к надёжному реактору (воспоминания, избранные статьи). Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 1998.
Feoktistov L.P. From the past to the future: from hopes for a bomb to a reliable reactor (memories, selected articles). Snezhinsk: RFNC-VNIITF Publishing House, 1998. (In Russ.)
 17. Лев и Атом: Академик Л.П. Феоктистов: автопортрет на фоне воспоминаний. М.: Воскресенье, 2003.
Lev and Atom: Academician L.P. Feoktistov: self-portrait against the background of memories. Moscow: Voskresenye, 2003. (In Russ.)

SCIENTIFIC LEADERS OF THE URAL NUCLEAR CENTER**E.T. Artemov^{a,*}, N.P. Voloshin^{b,**}**^a*Institute of History and Archaeology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia*^b*Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russian Scientific Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia*^{*}*E-mail: iia-history@mail.ru*^{**}*E-mail: oteldou2@vniitf.ru*

The article provides an overview of the books published in the series “Outstanding Scientists of the Urals” (editor-in-chief of the series is Academician of the Russian Academy of Sciences V.N. Charushin); they are dedicated to outstanding nuclear scientists, members of the Academy of Sciences K.I. Shchyolkin, E.I. Zababakhin, B.V. Litvinov, L.P. Feoktistov, E.N. Avrorin. The books contain essays on the professional activities, social and personal lives of scientific leaders of the Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Technical Physics named after Academician E.I. Zababakhin, memoirs of colleagues, students and relatives, declassified documents, lifetime publications and interviews of the scientists themselves on socially significant topics, sketches of a memoir nature. The book series makes a significant contribution to the reconstruction of the history of the nuclear weapons complex of Russia, many pages of which remain terra incognita for the general public.

Keywords: K.I. Shchyolkin, E.I. Zababakhin, B.V. Litvinov, L.P. Feoktistov, E.N. Avrorin, nuclear weapons complex of Russia, Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Technical Physics named after Academician E.I. Zababakhin.

СТРАТИГРАФИЯ СКВОЗЬ ПРИЗМУ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА К.В. СИМАКОВА

© 2025 г. Н.А. Горячев^{а,*}

^аСеверо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило
Дальневосточного отделения РАН, Магадан, Россия

*E-mail: goryachev@neisri.ru

Поступила в редакцию 16.01.2025 г.
После доработки 22.01.2025 г.
Принята к публикации 26.01.2025 г.

Статья посвящена памяти академика Кирилла Владимировича Симакова, замечательного исследователя, который отдал жизнь изучению стратиграфии Северо-Востока России, создал теорию стратиграфического времени и на её основе — методику определения хроностратиграфических границ. К.В. Симаков внёс неоценимый вклад в теорию палеобиосферного времени.

Ключевые слова: К.В. Симаков, геология, стратиграфия палеозоя, хроностратиграфия, палеобиосферное время, Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения РАН.

DOI: 10.31857/S0869587325030088, EDN: CUGODE

Академик Кирилл Владимирович Симаков (1935–2004) — известный российский геолог, посвятил свою жизнь исследованию стратиграфии палеозоя и вопросам общей хроностратиграфии в геологии.

Кирилл Владимирович родился 1 февраля 1935 г. в Ленинграде, в семье профессора В.Н. Симакова, заведующего кафедрами почвоведения Ленинградского сельхозинститута и Ленинградского университета, и заведующей лабораторией Нефтяного геологоразведочного института (НГРИ) доктора биологических наук Т.Л. Симаковой (урождённой Кривской), дочери известного хирурга профессора Л.А. Кривского [1, 2]. В автобиографии Кирилл Владимирович писал, что до 1941 г. он жил в Ленинграде, в годы блокады был эвакуирован в Набережные Челны, откуда вернулся в 1944 г. и в 1952 г. закончил среднюю школу. В тот же год он поступил в Ленинградский государственный университет на геологический факультет, который закончил в 1957 г., получив квалификацию “геолог-съёмщик-поисковик”.

После окончания университета в течение года он работал младшим геологом Джетымской партии Киргизского геологического управления Мингео СССР, а затем, в связи с прекращением среднемас-



Академик К.В. Симаков

ГОРЯЧЕВ Николай Анатольевич — академик РАН, главный научный сотрудник СВКНИИ ДВО РАН.

штабной геологической съёмки, перевёлся в Северо-Восточное геологическое управление Мингео СССР. Его направили в Сеймчанское районное геолого-разведочное управление¹, где он и состоялся как геолог, пройдя путь (1958–1970) от геолога до начальника партии, начальника поискового отдела Сеймчанской геолого-разведочной экспедиции.

С конца 1970 г. его жизнь была связана с академической наукой. Сначала он работал в Северо-Восточном комплексном научно-исследовательском институте Дальневосточного научного центра АН СССР (ныне СВКНИИ им. Н.А. Шило ДВО РАН) в Магадане, где прошёл путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией палеонтологии и стратиграфии палеозоя и главного научного сотрудника; в 1994 г. он стал заместителем председателя, а в 1996 г. председателем Северо-Восточного научного центра ДВО РАН (Магадан).

О раннем этапе работы К.В. Симакова как геолога свидетельствуют воспоминания его коллег, опубликованные в спецвыпуске журнала “Колымские вести” (2004, № 26), посвящённом памяти Кирилла Владимировича. В публикациях Ю.И. Оноприенко [3], В.М. Шевченко [4], И.Б. Флёрова [5], Б.В. Преображенского [6] он предстаёт и как человек, и как специалист, который состоялся именно в Сеймчанской экспедиции. Уже первые полевые маршруты 1958 г. позволили ему включиться в круг проблем геологии и стратиграфии палеозойской эры. Большую роль сыграло общение молодого специалиста с хорошим базовым образованием с местными геологами — колымскими “мастодонтами”, начавшими свой путь ещё в Дальстрое, — А.П. Шпетным, С.М. Тильманом, Г.М. Сосуновым, Я.П. Мисансом, Д.Ф. Егоровым, Д.М. Печёрским [5], которые приняли его в свой коллектив в качестве полноправного члена и делились с ним опытом. Кирилл Владимирович прошёл серьёзную школу геолога-съёмщика с уникальным опытом полевой геологии и с практикой подготовки (составление, редактирование и защита) нескольких листов геологической карты масштаба 1:200 000 и 1:500 000. Уже во второй год полевых работ, в ходе исследований на Омолоне он задокументировал стратиграфические формации нижнего и среднего палеозоя, среди которых оказался и разрез с границей девона и карбона по ручью Перевальному (приток р. Шайбины на Камчатке). Впоследствии благодаря именно работам Симакова этот разрез вошёл в список опорных разрезов мирового значения.

Геологические наблюдения в сочетании с пылкостью ума способствовали появлению первых публикаций в “Учёных записках НИИГА” в 1965 г., а также статей в журнале “Геология и геофизика” в 1967–1968 гг., главы “Девон Омолонского масси-

ва” в книге “Геология СССР. Т. XXX. Северо-Восток СССР. Геологическое строение. Кн. 1”. Итоговые результаты исследований этого периода были изложены в диссертации “Стратиграфия и циртоспирифериды фаменского и турнейского ярусов среднего течения р. Омолон”, представленной на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук и защищённой в 1970 г. в Институте геологии и геофизики СО АН СССР в Новосибирске.

Защита кандидатской диссертации не только подвела промежуточный итог деятельности Кирилла Владимировича как геолога, но и привела его в академическую науку. В конце 1970 г. по приглашению директора Северо-Восточного комплексного НИИ Дальневосточного научного центра АН СССР академика Н.А. Шило Симаков перешёл в этот институт и погрузился в фундаментальные проблемы геологической науки, развивая и расширяя результаты своих работ производственного периода. Здесь собранный палеонтологический и стратиграфический материал по биостратиграфии девонского и каменноугольного периодов геологической истории Земли Кирилл Владимирович рассмотрел в рамках одной из актуальных проблем стратиграфии — проблемы границы между девонской и каменноугольной системами, которая в то время стала предметом международной дискуссии [3].

Сопоставление результатов, полученных К.В. Симаковым на Омолоне, со ставшими классическими в тот период пограничными разрезами Франко-Бельгийского бассейна показало неполноту последних. Эти работы вывели Кирилла Владимировича на международный уровень, “на многие годы тесно связав его с подразделениями Международного союза геологических наук, где он быстро занял положение одного из ведущих экспертов международного класса” [7]. Этому способствовали организованные им совместно с коллегами международные полевые экскурсии на Омолонские разрезы (1979, 1981, 1984), а также его участие в изучении разрезов в Бельгии (1981), Китае (1988), Австралии (1989). Получив международное признание, Симаков стал членом Международной рабочей группы по границе девона и карбона (1975), а с 1984 г. — её вице-председателем. В 1985 г. он успешно защитил в Новосибирске докторскую диссертацию на тему “Граница девона и карбона и проблема определения хроностратиграфических границ”. Один из главных выводов диссертационного исследования — установление на основании изучения фаунистических остатков закономерности эволюционных преобразований, которые “свидетельствуют об экотонной природе хроностратиграфических границ”, определяющей “необходимость введения системы конвенций в операциональные правила их фиксации и прослеживания, обеспечивающих реализацию концепций — образов хроностратиграфических границ” [3].

¹ Сеймчан — посёлок городского типа, административный центр Среднеканского района и соответствующего ему городского округа Магаданской области.



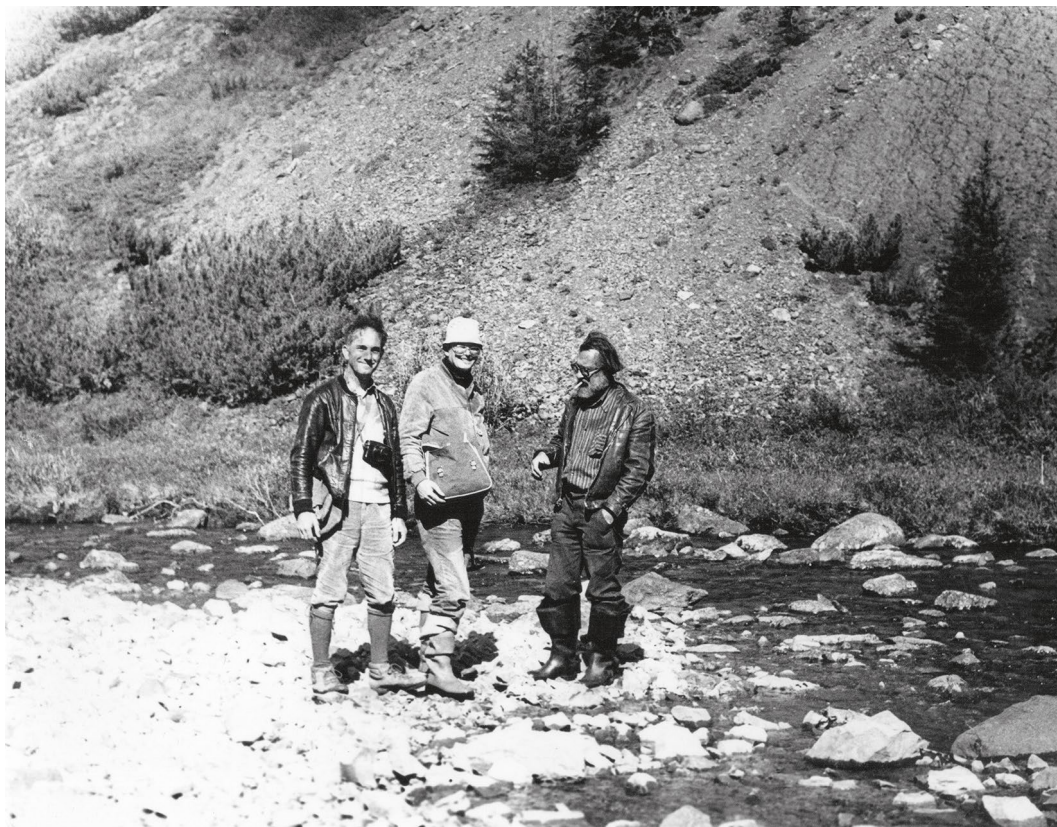
Три будущих доктора геолого-минералогических наук (слева-направо): Е.В. Колесов, М.Х. Гагиев, К.В. Симakov, а также Ю.Т. Зотов (вездеходчик) и В.Г. Хромых. Новосибирск, 1979 г., экскурсия по IX туру XIV Тихоокеанского научного конгресса. Ручей Перевальный (бассейн р. Моланджа)

Фото С.В. Васильевой

Это исследование получило развитие в его дальнейшей деятельности и привело к проблеме палеобиосферного времени, которой он посвятил всю последующую жизнь. Активная работа в составе Международной группы позволила Симakovу собрать уникальный материал по разрезам границы девона и карбона Советского Союза, Бельгии, Германии, Франции, Испании, Канады, Китая, Австралии, который он обобщил в виде серии монографических работ: “Очерки по стратиграфии пограничных отложений девона и миссисипия Северной Америки” (1984), “Опорные разрезы и биостратиграфия пограничных отложений девона и карбона Западной Европы” (1985), “Проблема определения хроностратиграфических границ (на примере границы девона и карбона)” (1986). За эти труды в 1988 г. К.В. Симakov был удостоен высшей награды АН СССР в области наук о Земле — премии имени академика А.П. Карпинского. Итогом работ периода 1971–1988 гг. стало не только обобщение результатов полевых исследований, но и разработка на этой основе методики определения хроностратиграфических границ как базиса методологии хроностратиграфии и теории геологического времени. Признанием научных заслуг Кирилла Владимиро-

вича в области региональной геологии и стратиграфии стало избрание его в 1990 г. членом-корреспондентом АН СССР, а в 2000 г. — действительным членом РАН.

Симакova очень занимала проблема времени — геологического и абсолютного. Последние 15 лет жизни он посвятил разработке теории палеобиосферного времени. Он стал автором новой теории стратиграфического времени и создал на её основе методику определения хроностратиграфических границ. Если посмотреть на тематику его публикаций тех лет, то прослеживаются две линии — общие проблемы стратиграфии [8–11] и проблемы определения геологического времени и его соотношения с физическим временем [12–20], которые он рассматривал как основы стратиграфической шкалы геологической истории Земли. Этим вопросам посвящена трёхтомная монография “К созданию теории палеобиосферного времени” [23]. Опираясь на представления В.И. Вернадского о реальном времени [24], Симakov изложил собственную оригинальную концепцию реального палеобиосферного времени как главного фактора не только стратиграфических исследований, но и геологического познания Земли в целом. Тома монографии



Во время международной экскурсии на Омолоне, ручей Перевальный (бассейн р. Моланджа): Мартин Блесс (Natural History Museum, Maastricht), Рафаэль Конил (Laboratoire de Paleontologie, Louvain-la-Neuve, Belgium), К.В. Симаков. 1981 г.

Фото Л.В. Смирновой

насыщены, возможно даже избыточно, обширным материалом, содержащим обобщение результатов огромного количества исследований разных веков. Это непростое чтение, но если вникнуть в предмет, то нельзя не согласиться с мнением профессионалов о важности и необходимости подобного подхода.

Сейчас, когда в геологии широко распространена изотопная геохронометрия, вопросы времени формирования регионально-стратиграфических единиц отошли на задний план в силу именно их временной немасштабности [21]. Однако геологи, изучающие разрезы крупных региональных структур разных орогенных поясов или платформенных осадочных бассейнов, нередко не могут определить длительность стратиграфических перерывов, которые имеют место в региональных разрезах, несмотря на развитие системы геохронологических датировок. Они вынуждены использовать понятия относительной (геологическая система исчисления возраста на основании биостратиграфических исследований) и абсолютной (изотопной) геохронологии. Проблема времени важна для геологов потому, что они исследуют события далёкого прошлого, которые оставили геологические следы. Автомати-

ческий перенос динамического времени, которое мы ощущаем сейчас, на феномены геологической истории, то есть статическое время [22], зачастую вызывает неопределённость. Как справедливо подметил Ю.Б. Гладенков, различие заключается в том, что геологическая история в рамках теории биосферного времени (относительная геохронология) “сама является часами”, а в случае теории изотопного времени “имеет часы на стороне” [22], или, как писал Симаков, “она уже имеет часы”. Именно этой проблеме посвятил свои работы последних лет Кирилл Владимирович, многие из них были опубликованы в журнале “Вестник Российской академии наук” в период с 1995 по 2003 г. [17, 19, 20, 25, 26].

Согласно выводам Симакова, биосферное время отражает информацию о цепочке последовательных событий, происходивших под влиянием планетарных факторов, а изотопное время даёт информацию о запуске радиогенных часов локальных событий на основании изучения минералов. Вследствие этого изотопные часы “практически нельзя использовать для вычисления скорости и продолжительности процессов” в конкретной палеоэкологической системе. Иначе говоря, “кро-



Слева направо: В.М. Мерзляков, два будущих академика — К.В. Симаков и В.И. Гончаров, Е.И. Кулагина. Ручей Перевальный (бассейн р. Моланджа). 1981 г.
Фото Л.В. Смирновой

ме реального геологического (палеобиосферного) времени, представленного геологической летописью, и концептуального геологического (палеобиосферного) времени, отражающего в абстрактной форме запрототолированную в геологической летописи информацию о специфике геоисторического процесса, существует ещё некое внешнее время, независимое ни от каких физических (материальных) особенностей феноменов геологической летописи, которое представляет собой неосознаваемое свойство и в этом смысле является абсолютным” [23, т. 3, с. 265], что требует учёта в стратиграфических исследованиях и что составляет одну из главных методологических проблем в создании современной Международной стратиграфической шкалы.

Ещё одна проблема, по его мнению, — отсутствие общепринятого определения понятия “граница” в отношении хроностратиграфических подразделений и геохронологических единиц, поскольку Международная стратиграфическая шкала “отображает в обобщённом виде структуру и особенности *реального геологического (s.l.) времени*, тогда как опирающаяся на неё геохронологическая шкала является моделью *концептуального геологического (s.l.)*

времени, отражающей наши абстрактные теоретические представления” [23, т. 3, с. 267]. Согласно К.В. Симакову, любая хроностратиграфическая граница является протоколом глобального события, и в геологической летописи она представлена некоторым стратиграфическим интервалом, своего рода буферной зоной со своими пространственно-временными параметрами, а значит, возникает вопрос о простоте применимости изотопной геохронометрии для оценки времени формирования таких границ. Здесь важно обратить внимание на замечание о том, что показания радиологических часов фиксируют только время их запуска, то есть “когда имело место это конкретное событие в истории данной локальной палеоэкосистемы”, но они не дают “информации о том, какова длительность последовавших за этим событием изменений в состоянии, обусловленных её циклически необратимым развитием” [23, т. 3, с. 282]. Вследствие этого радиологические часы сложно использовать для определения скорости и длительности процессов в динамике конкретной палеоэкосистемы, и это надо учитывать при расшифровке геологической истории конкретных регионов (геологических бассейнов).

В настоящее время мы стремимся максимально применять данные изотопной геохронологии для датирования конкретных событий (кристаллизации массивов магматических пород, датирования руд и метасоматитов тех или иных полезных ископаемых, событий метаморфизма и пр.), характеризуя их как исторические процессы определённой продолжительности. В то же время исследования академика К.В. Симакова показали, что обязательно надо учитывать геологические реалии, такие как длительность и скорость процессов образования пород и руд в истории Земли, поскольку объективно мы должны использовать для “разных отрезков геологической истории квазидинамические модели неодинаковых по своей генетической (материально-энергетической) природе процессов”, или часы “различных конструкций с неодинаковой ритмикой хода” [23, т. 3, с. 300].

Нельзя не сказать о роли К.В. Симакова в развитии науки на Северо-Востоке России. Долгие годы он был лидером стратиграфического направления Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН. Его исследования пограничных разрезов привлекли большое внимание международной научной общности к региону, обеспечив возможность научных контактов российских специалистов с зарубежными коллегами, а в 1990-е годы благодаря развитию сотрудничества с геологами Аляски (под патронажем К.В. Симакова, а также академиков Н.А. Шилов и В.И. Гончарова, члена-корреспондента РАН А.А. Сидорова) способствовали проведению серии международных конференций, реализации крупных проектов, объединивших не только геологов-стратиграфов, но и специалистов в области тектоники, магматизма и металлогении, что вывело СВКНИИ на международный уровень.

В память об академике К.В. Симакове на стене Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института им. Н.А. Шилов ДВО РАН в Магадане, где он проработал более тридцати лет, установлена Памятная доска чёрного габбро с его профилем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кривская В.Ю.* Воспоминания о младшем брате // Колымские Вести. 2004. Вып. 26. С. 35–37.
Krivskaya V.Yu. Memories of a younger brother // Kolymskie Vesti. 2004, is. 26, pp. 35–37.
2. *Онопrienko Ю.И.* Прощание с Кириллом // Колымские Вести. 2004. Вып. 26. С. 27–34.
Onoprienko Yu.I. Farewell to Kirill // Kolymskie Vesti. 2004, is. 26, pp. 27–34.
3. *Онопrienko В.И.* К.В. Симаков: вклад в теорию и практику стратиграфии, методологию геологического времени // Колымские Вести. 2004. Вып. 26. С. 7–14.
4. *Шевченко В.М.* Светлой памяти Кирилла Владимировича Симакова // Колымские Вести. 2004. Вып. 26. С. 38–48.
Shevchenko V.M. In Blessed Memory of Kirill Vladimirovich Simakov // Kolymskie Vesti. 2004, is. 26, pp. 38–48.
5. *Флёров И.Б.* До свиданья друг мой, до свидания... // Колымские Вести. 2004. Вып. 26. С. 49–52.
Flerov I.B. Goodbye my friend, goodbye... // Kolymskie Vesti. 2004, is. 26, pp. 49–52.
6. *Преображенский Б.В.* Мой Кирилл // Колымские Вести. 2004. Вып. 26. С. 53–55.
Preobrazhensky B.V. My Kirill // Kolymskie Vesti. 2004, is. 26, pp. 53–55.
7. *Соколов Б.С.* Представление кандидатуры члена-корреспондента РАН Симакова Кирилла Владимировича в действительные члены (академики) Российской академии наук // Колымские Вести. 2004. Вып. 26. С. 15.
Sokolov B.S. Submission of the candidacy of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences Kirill Vladimirovich Simakov for full membership (academician) of the Russian Academy of Sciences // Kolymskie Vesti. 2004, is. 26, p. 15.
8. *Симаков К.В.* Об основных принципах теоретической стратиграфии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. № 10. С. 17–23.
Simakov K.V. On the basic principles of theoretical stratigraphy // Izv. Academy of Sciences of the USSR. Ser. geol. 1989, no. 10, pp. 17–23.
9. *Симаков К.В.* Размышления о состоянии, перспективах развития и актуальных проблемах стратиграфии // Тихоокеанская геология. 1992. № 5. С. 118–128.
Simakov K.V. Reflections on the state, development prospects and current problems of stratigraphy // Pacific Geology. 1992, no. 5, pp. 118–128.
10. *Симаков К.В.* О структуре теоретико-познавательного аппарата стратиграфии // Тихоокеанская геология. 1995. Т. 14. № 3. С. 81–95.
Simakov K.V. On the structure of the theoretical and cognitive apparatus of stratigraphy // Pacific Geology. 1995, vol. 14, no. 3, pp. 81–95.
11. *Симаков К.В.* На пути к теоретической стратиграфии. Магадан: СВНИЦ ДВО РАН, 1997.
Simakov K.V. On the way to theoretical stratigraphy. Magadan: SVNTS FEB RAS, 1997.
12. *Симаков К.В.* Время Земли // Тихоокеанская геология. 1991. № 4. С. 86–101.
Simakov K.V. Time of the Earth // Pacific Geology. 1991, no. 4, pp. 86–101.

13. *Симаков К.В.* К истории развития представлений о реальном геологическом времени. Статья первая // Тихоокеанская геология. 1992. № 6. С. 90–106.
Simakov K.V. On the history of the development of ideas about real geological time. Article one // Pacific Geology. 1992, no. 6, pp. 90–106.
14. *Симаков К.В.* К истории развития представлений о реальном геологическом времени. Статья вторая // Тихоокеанская геология. 1993. № 1. С. 102–131.
Simakov K.V. On the history of the development of ideas about real geological time. Article two // Pacific Geology. 1993, no. 1, pp. 102–131.
15. *Симаков К.В.* Геологическая история: имеет ли она часы или сама есть часы? // Вестник РАН. 1993. № 2. С. 117–121.
Simakov K.V. Geological history: does it have a clock or is it a clock? // Herald of the Russian Academy of Sciences. 1993, no. 2, pp. 117–121.
16. *Симаков К.В.* К проблеме естественнонаучного определения времени. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1994.
17. *Симаков К.В.* Очерк истории “переоткрытия времени” // Вестник РАН. 1995. № 6. С. 502–512.
Simakov K.V. Essay on the history of the “rediscovery of time” // Herald of the Russian Academy of Sciences. 1995, no. 6, pp. 502–512.
18. *Симаков К.В.* Очерк истории концепции развития реального времени. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1996.
Simakov K.V. Essay on the history of the concept of real-time development. Magadan: SVNC FEB RAS, 1996.
19. *Симаков К.В.* Реальное время в естественнонаучной картине мира // Вестник РАН. 1997. № 4. С. 323–331.
Simakov K.V. Real time in the natural science picture of the world // Herald of the Russian Academy of Sciences. 1997, no. 4, pp. 323–331.
20. *Симаков К.В.* Измерение реального времени // Вестник РАН. 1998. № 2. С. 136–147.
Simakov K.V. Real time measurement // Herald of the Russian Academy of Sciences. 1998, no. 2, pp. 136–147.
21. *Гладенков Ю.Б.* Биосферная стратиграфия. М.: Геос, 2004.
Gladenkov Yu.B. Biospheric stratigraphy. Moscow: Geos, 2004.
22. *Гладенков Ю.Б.* Стратиграфия как раздел исторической геологии и проблемы геологического времени // Колымские Вести. 2004. Вып. 26. С. 16–22.
Gladenkov Yu.B. Stratigraphy as a section of historical geology and problems of geological time // Kolymskie Vesti. 2004, is. 26, pp. 16–22.
23. *Симаков К.В.* К созданию теории биосферного времени: в 3-х томах. Т. 1. Предыстория; Т. 2. Становление; Т. 3. Стагнация. Перспективы. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2004.
Simakov K.V. Towards the creation of a theory of biospheric time: in 3 volumes. Vol. 1. Prehistory; Vol. 2. Formation; Vol. 3. Stagnation. Prospects. Magadan: SVNTS FEB RAS, 2004.
24. *Вернадский В.И.* Биосфера. Л.: Изд-во научно-техн. литературы, 1926.
Vernadsky V.I. Biosphere. Leningrad: Publishing house of scientific and technical literature, 1926.
25. *Симаков К.В.* Теория конкретного времени А. Бергсона // Вестник РАН. 1996. № 1. С. 54–63.
Simakov K.V. A. Bergson's Theory of Concrete Time // Herald of the Russian Academy of Sciences. 1996, no. 1, pp. 54–63.
26. *Симаков К.В.* О новом варианте Международной стратиграфической шкалы // Вестник РАН. 2001. № 12. С. 1076–1082.
Simakov K.V. On a new version of the International Stratigraphic Scale // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2001, no. 12, pp. 1076–1082.

**STRATIGRAPHY THROUGH THE PRISM
OF THE SPACE-TIME DIMENSION**
*ON THE 90th ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF ACADEMICIAN
K.V. SIMAKOV*

N.A. Goryachev^{a,*}

*^aN.A. Shilo North-Eastern Complex Research Institute, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia*

**E-mail: goryachev@neisri.ru*

The article is dedicated to the memory of Academician Kirill Vladimirovich Simakov, a remarkable researcher who devoted his life to studying the stratigraphy of the North-East of Russia, created the theory of stratigraphic time and, on its basis, the methodology for determining chronostratigraphic boundaries. K.V. Simakov made an invaluable contribution to the theory of paleobiospheric time.

Keywords: K.V. Simakov, geology, Paleozoic stratigraphy, chronostratigraphy, paleobiospheric time, N.A. Shilo North-East Complex Research Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

“НЕТ, ОЧЕВИДНО, НЕ ТАКОВА МОЯ НАТУРА”

К 125-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Ф.Г. ДОБРЖАНСКОГО

© 2025 г. М.Б. Конашев^{а,*}

^а*Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН,
Санкт-Петербург, Россия*

^{*}*E-mail: mbkonashev@mail.ru*

Поступила в редакцию 28.10.2024 г.

После доработки 24.12.2024 г.

Принята к публикации 03.02.2025 г.

Отечественные и зарубежные архивные материалы отражают огромный вклад русского и американского генетика, эволюциониста и гуманиста Ф.Г. Добржанского в развитие эволюционной биологии XX в., в первую очередь генетики и синтетической теории эволюции. Не менее интересна многогранная личность учёного: его мировоззрение и вера, культурные интересы, убеждения и политические взгляды, его мнение о коллегах, исторических и политических деятелях, эмигрантах из царской России и СССР, которых он встречал в США и других странах во время экспедиций и рабочих поездок. Особо подчёркивается его отношение к родине, восприятие научных и политических событий в СССР и других странах в контексте отечественной и мировой истории.

Ключевые слова: Ф.Г. Добржанский, генетика, эволюционная теория, эмиграция, русское зарубежье, история науки.

DOI: 10.31857/S0869587325030094, **EDN:** CUIPHM

Феодосий Григорьевич Добржанский (1900–1975) — выдающийся генетик, эволюционист и гуманист. После выхода публикаций, приуроченных к 100-летию со дня его рождения [1–3], многие аспекты его научной деятельности привлекли внимание исследователей [4–13]. Была обнародована переписка Ф.Г. Добржанского с советскими генетиками и другими биологами [14, 15], дана характеристика его личного архива, хранящегося в Библиотеке Американского философского общества, в том числе дневника [16]. С тех пор представление об учёном, его вкладе в генетику и эволюционную теорию и о той исторической эпохе, в которой ему довелось жить и творить, стало полнее и многограннее.

Мальчик с Лукьяновки. В дневнике, который Добржанский вёл с перерывами всю свою жизнь, в основном в экспедициях и различных поездках, он не раз писал о своей судьбе как о невероятно счастливой удаче мальчика с Лукьяновки. Приведём запись от 1 марта 1971 г., сделанную на вилле



Феодосий Григорьевич Добржанский (1900–1975)

КОНАШЕВ Михаил Борисович — кандидат биологических наук, доктор философских наук, главный научный сотрудник СПбФ ИИЕТ РАН.

жены его ученика Ф. Айалы: “Мальчик с Лукиановки из Киева и беспочвенный эмигрант из России в Америку вдруг оказался, временно конечно, в положении нормальном для миллионеров!”. Похожую фразу он записал 11 марта 1975 г. в Париже в гостях у французского генетика К. Пети: “What a phantastic situation для мальчика с Лукиановки!” [17].

Впрочем, его жизненный и научный путь может быть назван как фантастическим, так и уникальным. Ф.Г. Добржанский родился 12 (25) января 1900 г. в г. Немиров, Подольской губернии Российской империи (в советский период — Винницкая область УССР). Его отец, Григорий Карлович Добржанский (1861–1918), родом из семьи мелкопоместных польских землевладельцев, был учителем математики в начальных классах русской мужской гимназии, а мать, Софья Васильевна Войнарская (1864–1920), из семьи священнослужителя, была дальней родственницей Ф.М. Достоевского. В 1909 г. Феодосий поступил в первый класс гимназии в Немирове. В 1910 г. семья переехала в Киев, где он учился в 6-й Киевской гимназии, а в 1917 г. поступил на естественное отделение физико-математического факультета Киевского университета (Университет св. Владимира, с 1920 г. — Высший институт народного образования). Учёбу Добржанский завершил в 1921 г., успешно сдав все экзамены, но, как он утверждал в своих воспоминаниях [18, с. 104], документа об окончании университета не получил. Ещё студентом он стал научным работником и преподавателем, но оклады были невысокие, и ему, как и многим, приходилось подрабатывать.

В 1918–1919 гг. он был ассистентом академика В.И. Вернадского во Всеукраинской академии наук (ВУАН) и с 1919 г. — зоологом Зоологического музея ВУАН. В 1919 г. он, кроме того, преподавал на нулевом семестре Киевского университета, в 1919–1920 гг. состоял ассистентом Одесского сельскохозяйственного института, а с 1920 г. — преподавателем Киевского политехнического института (КПИ). При этом в 1921–1924 гг. Феодосий Григорьевич числился аспирантом при кафедре зоологии КПИ. С 1922 по 1923 г. он преподавал на рабфаке КПИ и читал лекции по биологии в Киевском педагогическом институте. Помимо этого, с 1922 г. Добржанский был учёным сотрудником Всероссийского сельскохозяйственного учёного комитета и Московского института экспериментальной зоологии. В январе 1924 г. по приглашению Ю.А. Филипченко, заведующего первой в стране кафедрой генетики Петроградского государственного университета, он переехал в Петроград и с 1924 по 1927 г. служил ассистентом на этой кафедре, а в 1925–1927 гг. ещё и учёным специалистом Бюро евгеники и генетики (с 1927 г. — Отдел генетики) Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕПС) АН СССР.

В 1927 г. по инициативе и при содействии Ю.А. Филипченко Добржанский был командирован в США, где с 1928 по 1929 г. проходил стажировку в лаборатории Т.Г. Моргана в Колумбийском университете в Нью-Йорке в качестве рокфеллеровского стипендиата. В 1929 г. он был назначен ассистентом (сначала временно) по курсу генетики в Калифорнийском технологическом институте, куда последовал за Морганом. Добржанскому удалось продлить срок своего пребывания в США до 27 июня 1929 г., а затем ещё примерно на год — до 1 апреля 1930 г. С мая 1930 г. по июнь 1931 г. он стал готовиться к возвращению в СССР и подыскивал новую работу. Но после письма Н.И. Вавилова от 11 июня 1931 г., в котором тот, приглашая Добржанского на работу, своеобразным эзоповым языком дал ему понять, что возвращаться не следует [19, с. 184], он решил остаться в США и стал невозвращенцем.

Дорога на родину оказалась для Ф.Г. Добржанского закрыта навсегда. В 1963 г. он предпринял первую попытку приехать в СССР и получил первый отказ. В официальном письме начальника Иностранного отдела АН СССР С.Г. Корнеева говорилось, что, поскольку интересы Добржанского связаны с вопросами, которыми советские генетики мало занимаются, нет возможности организовать такую поездку в СССР, “которая могла бы быть для него интересной и полезной” [15, с. 41]. В 1969 г. — ещё одна попытка вернуться для чтения лекций, и вновь отказ. После этого надежды попасть на родину у него почти не осталось, хотя друзья уверяли его, что не всё потеряно. 16 сентября 1973 г. Ю.Я. Керкис писал: “Мы с Вами ещё проживём достаточно, чтобы увидеться на следующем конгрессе в Москве обязательно!!!” [15, с. 165]. Но во время XIII Международного генетического конгресса 1973 г. в Беркли (США) Добржанский с горечью написал в дневнике 24–27 августа: “Академик Беляев, которого я пригласил на лекцию в Spengler’s, явно дал понять, что на визит в Россию у меня не может быть надежды. Турбин, председатель Генетического общества, наоборот, говорил, что на следующем конгрессе, который соберётся в Москве, не будет никаких ограничений, и я там могу быть. Но... во-первых, это будет через 5 лет, и этот срок я, почти наверное, не проживу. Во-вторых, вряд ли сам Турбин имеет полномочия давать такие обещания. В-третьих, за 5 лет всё может перемениться, и доступ в Россию может быть либо совершенно открыт, либо совершенно закрыт. Но ни Турбин, ни кто другой меня не пригласили на приём в советском консульстве в Сан-Франциско...” [17].

Накануне 70-летия Ф.Г. Добржанского Б.Л. Астауров, Д.К. Беляев, Ю.Я. Керкис, Н.П. Дубинин и другие биологи поздравили его с юбилеем. Одни, например, С.И. Алиханян, ограничились телеграммой на английском, другие, как Б.Л. Астауров, прислали письма на русском и английском языках [15, с. 278].



Кафедра зоологии Киевского политехнического института. 1923 г.
Нижний ряд слева направо: М.М. Левит, Ф.Г. Добржанский, А.Г. Лебедев, Грезе, Г.И. Шпет; верхний ряд: слева С. Иванов, справа Ю.Я. Керкис



Кафедра генетики Ленинградского университета. Январь 1927 г.
Нижний ряд слева направо: Е.П. Гагейзель (Раджабли), Ю.А. Филипченко, Н.П. Добржанская (Сиверцева); верхний ряд слева направо: Ю.Я. Керкис, Г.И. Шпет, С. Иванов, Ф.Г. Добржанский, Т.К. Лепин, Ю.Л. Горошенко, М.М. Левит

Однако никаких, даже кратких, заметок в советской научной периодике, посвящённых этому событию, конечно, не было.

Больше всего Добржанский мечтал о переводе своих монографий на русский язык, но в советское время это оказалось неосуществимым. Сначала уже готовый типографский набор перевода его книги “Genetics and the Origin of Species” был рассыпан вместе с набором книги “Биология и марксизм” М. Пренана, члена центрального комитета Французской коммунистической партии [20, с. 168]. Потом о подобном проекте не осмеливались даже заговаривать, а если и осмеливались, то разговорами всё и заканчивалось [21, с. 382, 383].

Но и в США внешне благополучная карьера Ф.Г. Добржанского складывалась не без сложностей и тревожений. Жена Наталья Петровна (в девичестве Сиверцева) долгое время была его основным техническим помощником и секретарём, но семейная жизнь, особенно с 1950-х годов, не всегда была безоблачной. В 1936 г. Добржанский стал профессором генетики в Калифорнийском технологическом институте и получил гражданство США. Повышению в должности предшествовали переговоры с Дж.Т. Паттерсоном, который предложил ему должность профессора Техасского университета, с М. Демерецем, у которого появилась вакантная позиция в Институте Карнеги в Колд Спринг Харборе, и с Т.Г. Морганом, желавшим удержать Добржанского [22]. Приняв в итоге предложение последнего, учёный неожиданно для себя обнаружил, что А. Стертевант, которого он считал своим другом, этому вовсе не рад [18, с. 386, 387]. Причина заключалась не в английском снобизме Стертеванта, как предполагал Добржанский [18, с. 274, 275] (хотя, возможно, снобизм тоже имел место), а в том, что Феодосий Григорьевич собирался изучать генетическую изменчивость природных популяций дрозофилы, что требовало не только новых методов, но и гораздо больших технических и финансовых ресурсов, а Стертевант был приверженцем исключительно экспериментального лабораторного подхода. Таким образом, их интересы и стратегии оказались в противоречии [23, с. 52, 53]. Сложившаяся ситуация для Добржанского была невыносима и, хоть и не сразу, ему удалось сменить место работы, став профессором Колумбийского университета в 1940 г.

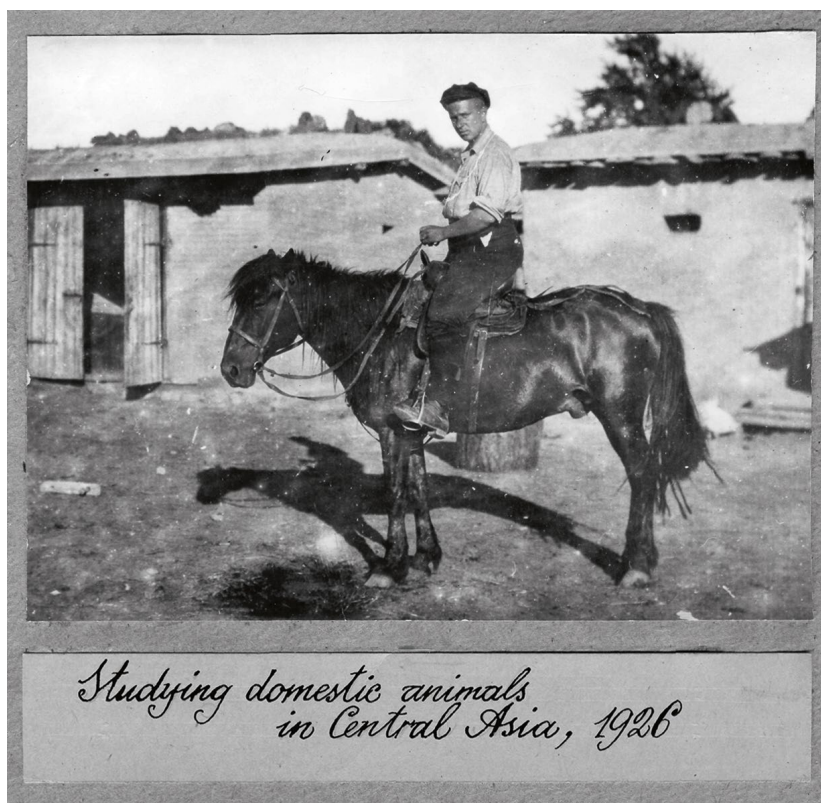
Два десятилетия в относительно хороших условиях и спокойной атмосфере закончились с началом эры молекулярной биологии. С 1962 по 1970 г. Добржанский — профессор в Институте Рокфеллера, а с 1970 г. — заслуженный профессор в отставке. Но и это десятилетие, и последние пять лет его жизни были полны разных коллизий и разочарований. С 1971 г. он получил звание адъюнкт-профессора Калифорнийского университета в Дэвисе. В ходе планового медицинского осмотра в 1968 г. было обнаружено, что учёный страдает хроническим

лимфолейкозом. Ему было отпущено всего семь с половиной лет. Скончался он 18 декабря 1975 г., но даже накануне своего ухода присутствовал в лаборатории [23, с. 165].

Союз энтомологии и генетики. Ещё юношей Ф.Г. Добржанский увлёкся энтомологией и уже в 17 лет опубликовал свою первую научную работу с описанием нового вида божьих коровок из окрестностей Киева [24]. В последующие годы он продолжил изучать систематику, географическую изменчивость и полиморфизм кокциnellид [25, 26], в том числе представителей энтомофауны Северной Америки [27]. Одновременно он провёл первые в России эксперименты по плеiotропии генов у дрозофилы [28, 29]. Он принимал участие в зоотехнических экспедициях КЕПС АН СССР в Среднюю Азию (в 1925 г., в качестве руководителя в 1926 и 1927 гг.). Были собраны данные о количестве и породном составе домашних животных, проводились исследования по генетике, в первую очередь по отдалённой межвидовой гибридизации. На основе полученных результатов были составлены планы и рекомендации по улучшению пород домашних животных, их продуктивности, условий содержания. Приобретённый опыт пригодился Добржанскому в его экспедициях по Северной и Южной Америке, а верховая езда стала любимым видом активного отдыха [30, с. 62].

От транслокаций к генетике природных популяций. Генетика и происхождение видов. За океаном Добржанский первое время занимался классической генетикой. Он продолжил изучать действие генов на несколько признаков, составил карту расположения генов в хромосомах *Drosophila melanogaster*, исследовал явление транслокации, воздействие генетических факторов и факторов среды на определение пола у этого вида. Его труды внесли огромный вклад в классическую генетику и стали мостиком к определению генетических основ бесплодности гибридов между двумя другими видами дрозофилы (*D. pseudoobscura* и *D. persimilis*), считавшимися в то время расами А и В одного вида.

Перед отъездом в США в конце 1927 г. Добржанский уже пришёл к пониманию всех основных проблем, которые необходимо было решить на пути к эволюционному синтезу, и в предварительном виде сформулировал главные элементы будущей эволюционной концепции, а также программу исследований процесса образования видов. Она предполагала изучение индивидуальной и расовой наследственной изменчивости в природных популяциях, разделения однородной видовой популяции на две и более рас, постепенной дивергенции рас, превращения дивергирующих рас в самостоятельные виды [10, с. 291]. В то время учёный ещё не мог осуществить синтез, поскольку не обладал подходящими материалами и методами. Свои опыты он провёл самостоятельно уже в США, хотя не



Экспедиция в Среднюю Азию. 1926 г.

без помощи американских коллег, в первую очередь А. Стертеванта и С. Райта [23, с. 13–21, 30–45].

В 1932 г. Ф.Г. Добржанский принял участие в VI Международном генетическом конгрессе в Итаке. Доклад С. Райта о механизмах эволюции произвёл на него большое впечатление [31]. До 1935 г. он не делал публикаций по проблемам эволюции и продолжал исследования по классической генетике дрозофилы, приступив к изучению её природных популяций лишь в 1936 г. [23, с. 50]. В тот год Феодосий Григорьевич снова обратился к выступлению Райта, лично встречался с ним и использовал отдельные положения его доклада в знаменитых джесуповских лекциях, прочитанных им по приглашению его друга Л.К. Данна осенью 1936 г., и при написании весной следующего года книги “Генетика и происхождение видов” [23, с. 60, 63]. Ещё в 1935 г. он опубликовал основополагающую статью [32], в которой предложил целостную биологическую концепцию вида, в том числе новое определение вида: “Рассматриваемый динамически вид представляет собой такую стадию эволюционной дивергенции, на которой некогда актуально или потенциально свободно скрещиваемые формы становятся разделёнными на две или более отдельные группы, не способные физиологически к скрещиванию друг с другом. Фундаментальное значение этой стадии обусловлено тем фактом, что

только развитие изолирующих механизмов делает возможным сосуществование в одном и том же географическом районе различных дискретных групп организмов” [32, с. 354]. Эта концепция стала теоретическим ядром упомянутой выше книги.

В конце 1920-х — начале 1930-х годов в ходе изучения генетической изменчивости дрозофилы Добржанский постоянно переписывался со своими коллегами и друзьями из СССР. Эта переписка затем вынужденно прервалась более чем на 20 лет из-за начавшихся наступлений на генетику. В Киеве его корреспондентами были три молодых биолога: Г.И. Шпет — генетик, с 1928 по 1941 г. научный сотрудник Института зоологии и биологии АН УССР, М.М. Левит — зоолог, энтомолог, в начале 1930-х годов научный исследователь кафедры зоологии Киевского сельскохозяйственного института, а в 1934–1936 гг. учёный секретарь Института зоологии АН УССР, С.Я. Парамонов — энтомолог и орнитолог, в 1930–1941 гг. научный сотрудник Зоологического музея АН УССР. В Ленинграде его корреспондентами были прежде всего Ю.Я. Керкис и Н.Н. Медведев, сотрудники Института генетики АН СССР, занимавшиеся генетикой дрозофилы фактически под руководством Феодосия Григорьевича. В Москве его основным адресатом был В.В. Алпатов — в 1931–1948 гг. заведующий лабораторией экологии НИИ зоологии МГУ. В первой



Ф.Г. Добржанский, Н.П. Добржанская и Г.Д. Карпеченко. 1930 г.

половине 1930-х годов Добржанский также переписывался с Н.И. Вавиловым, Г.Д. Карпеченко, Г.А. Левитским, Т.К. Лепиным, Я.Я. Лусом, Б.И. Васильевым, Р.А. Мазинг, М.Л. Бельговским, А.Н. Кириченко и М.Н. Римским-Корсаковым в Ленинграде, Н.П. Дубининым, Б.М. Завадовским и А.С. Серебровским в Москве, И.И. Шмальгаузен и В.А. Караваевым в Киеве.

В письмах из Советского Союза были изложены не только вопросы и просьбы коллег, но и их идеи и размышления, что помогло Феодосию Григорьевичу в его собственных исследованиях и создании биологической концепции вида. В частности, отвечая на одно из его писем, Г.И. Шпет сообщал: “Ваша работа над *pseudoobscura* меня весьма интересует, ведь чем-то близким я занимался над отдельными мутациями *Drosophila melanogaster* — меня интересовало наличие частичной половой изоляции. С этой стороны расы А и В Лансфельда и Ваша работа весьма мне интересны” [14, с. 748]. А вот выдержка из письма М.М. Левита от 30 марта 1934 г.: “Как бы то ни было, а опыты с *pseudoobscura* уже поставлены... Из Вашего письма видно, что и у Вас как раз в это время проделывались вещи, очень близкие к моим. Ну, что ж, параллелизм тут не мешает, тем более что и постановка, кажется, близкая, но не идентичная” [14, с. 635]. В теоретическом и методологическом отношении для Добржанского была особенно важна переписка с С.Я. Парамоновым, в чьём письме от 4 августа 1934 г. высказывалась мысль о важности межвидовой гибридизации, в том числе как средства эксперимента: “Перейду к твоим *Drosophil’ам*. Применяли ли [вы] искусственное осеменение?

Мне кажется, что межвидовое и межродовое скрещивание, сильнее встряхивающее типичную наследственную структуру, должно дать много такого, что в обычном состоянии скрыто, [должно] нарушить обычные связи и вскрыть сущность последних” [14, с. 716]. Таким образом, в первой половине 1930-х годов Добржанский активно обсуждал проблему вида и видообразования, её экспериментальное исследование и работал над её решением со своими коллегами из СССР. Это сотрудничество включало не только обмен идеями и полученными результатами, но и отправку культур дрозофилы в Киев и Ленинград, а также обсуждение теории видообразования и методологии его изучения.

Полученные Ф.Г. Добржанским данные по стерильности гибридов между двумя видами-двойниками *D. pseudoobscura* и *D. persimilis* указывали на то, что репродуктивная изоляция явно носит менделевский характер и обусловлена генами, расположенными на определённых участках хромосом. Учёный показал, что генетика видовых различий и репродуктивная изоляция могут быть рассмотрены с помощью тех же генетических инструментов, которые зарекомендовали себя при исследовании различий внутри видов, и что микроэволюция (внутривидовые изменения) и макроэволюция (межвидовые изменения и изменения более высокого уровня) имеют одну и ту же генетическую основу — мутации в менделевских генах и хромосомные перестройки.

В октябре 1936 г. Добржанский читал лекции в Колумбийском университете. Впоследствии из этих лекций родилась книга “Генетика и происхождение видов” [33], которая стала прорывом в разви-

тии эволюционной мысли XX в. и «может рассматриваться как двойник труда Дарвина “Происхождение видов” в двадцатом столетии» [34, с. 3]. Феодосий Григорьевич заложил генетические основы синтетической теории эволюции, благодаря которой были решены вопросы, стоявшие перед эволюционистами в начале XX в., и окончательно сформирована теория происхождения видов Ч. Дарвина посредством создания биологической концепции вида и её экспериментального обоснования. В ней соединились воедино достижения и подходы генетики, систематики, экологии и дарвинизма. Одновременно эта теория утвердила новые, популяционно-генетические и близкие к ним (в первую очередь точные экспериментальные) методы исследования эволюционных процессов. Она служила программой эволюционно-генетических изысканий в течение более чем трёх десятилетий. В трудах, которые легли в основу синтетической теории эволюции (“Систематика и происхождение видов” Э. Майра [35], “Темпы и формы эволюции” Дж. Симпсона [36], “Изменчивость и эволюция растений” Дж. Стеббинса [37]), концепция Ф.Г. Добржанского была дополнена вопросами видообразования и макроэволюции — процессами, которые протекают в геологическом масштабе времени и приводят к возникновению родов, семейств и других систематических категорий. Кроме того, книга Добржанского запустила процесс организационной перестройки эволюционных исследований, в результате чего в 1946 г. в США было организовано Общество по изучению эволюции и учреждён специальный журнал “Evolution”, первым редактором которого был назначен Э. Майр, друг Добржанского.

Второе издание “Генетики и происхождения видов” вышло в свет в 1941 г., третье — в 1951 г., четвёртая (и последняя) книга под новым названием “Генетика эволюционного процесса” была отпечатана в 1970 г. [38]. Все четыре издания составили целую серию, отразившую изменения в современной эволюционной теории на протяжении трети века.

Генетика природных популяций. Ф.Г. Добржанский вплоть до своей кончины занимался географической и сезонной изменчивостью хромосомных типов у *D. pseudoobscura* и родственных видов. Он установил адаптивные различия между хромосомными типами в зависимости от смены сезонов, температурных колебаний и других эколого-географических факторов среды. Начиная с 1940-х годов он изучал географическую изменчивость хромосомных типов у *D. willistoni*, совершил ряд экспедиций в Бразилию, Чили и Аргентину и выявил даже большую степень многообразия местных форм и географической изменчивости, чем у *D. pseudoobscura*. Часть результатов была опубликована в виде книги под общим названием “Генетика природных популяций” [39], которая послужила основой для развития эволюционной генетики.

На тех же природных и лабораторных популяциях Феодосий Григорьевич наблюдал размах и состав генной изменчивости, в частности, летальные и другие вредные мутации. Эти работы (часть которых была выполнена совместно с учеником Б. Уоллесом) положили начало концепции балансовой генетической структуры популяций, предложенной Добржанским в середине 1950-х годов. Согласно этой концепции, генетический полиморфизм, то есть устойчивое сохранение в популяции двух и более генетически различных групп особей, а также высокая степень генетической изменчивости характерны для обычного состояния генетической структуры природных популяций и лежат в основе эволюционного процесса. Главная роль в создании и поддержании такой структуры принадлежит нескольким формам естественного отбора (отбор в пользу гетерозигот — особей, у которых подобные хромосомы несут различные формы того или иного гена; частотно-зависимый отбор — отбор в пользу редких, генетических и иных форм в популяции).

В конце 1930-х годов Добржанский обратился к изучению изолирующих механизмов, препятствующих скрещиванию особей разных видов. Было показано, что формирование изолирующих механизмов — неотъемлемая часть завершающей стадии процесса видообразования, при этом они представляют собой целый комплекс дополняющих друг друга форм изоляции (географическая, экологическая, этологическая, репродуктивная и др.), в совокупности обеспечивающих целостность генофонда нового вида. В создании и сохранении такого комплекса ведущая роль принадлежит естественному отбору.

В 1950-х годах учёный рассматривал формирование изолирующих механизмов у *D. willistoni* в природе, а в 1960-х годах изучал появление в лабораторных условиях репродуктивной изоляции (одной из основных составляющих комплекса изолирующих механизмов) у тропического вида *D. paulistorum*, включающего шесть полувидов¹. В результате отбора в смешанной популяции в течение пяти лет была достигнута полная неспособность к скрещиванию (репродуктивная изоляция) между формами, которые свободно скрещиваются в природе. Таким образом, было экспериментально смоделировано образование нового вида и доказано, что эволюция на основе отбора может быть стремительной.

Ф.Г. Добржанский подготовил не один десяток выдающихся генетиков-эволюционистов из разных стран, в том числе Б. Уоллеса, Дж. Мура, Р. Левонтина, Ф. Айалу, Д. Маринковича, К. Кримбаса, Э. Безигера. Остались ученики и на родине:

¹ Полувид — группа популяций, настолько морфологически, географически и/или экологически, а иногда и репродуктивно обособленная, что её можно считать молодым видом, который ещё не отделился полностью от предковой формы.

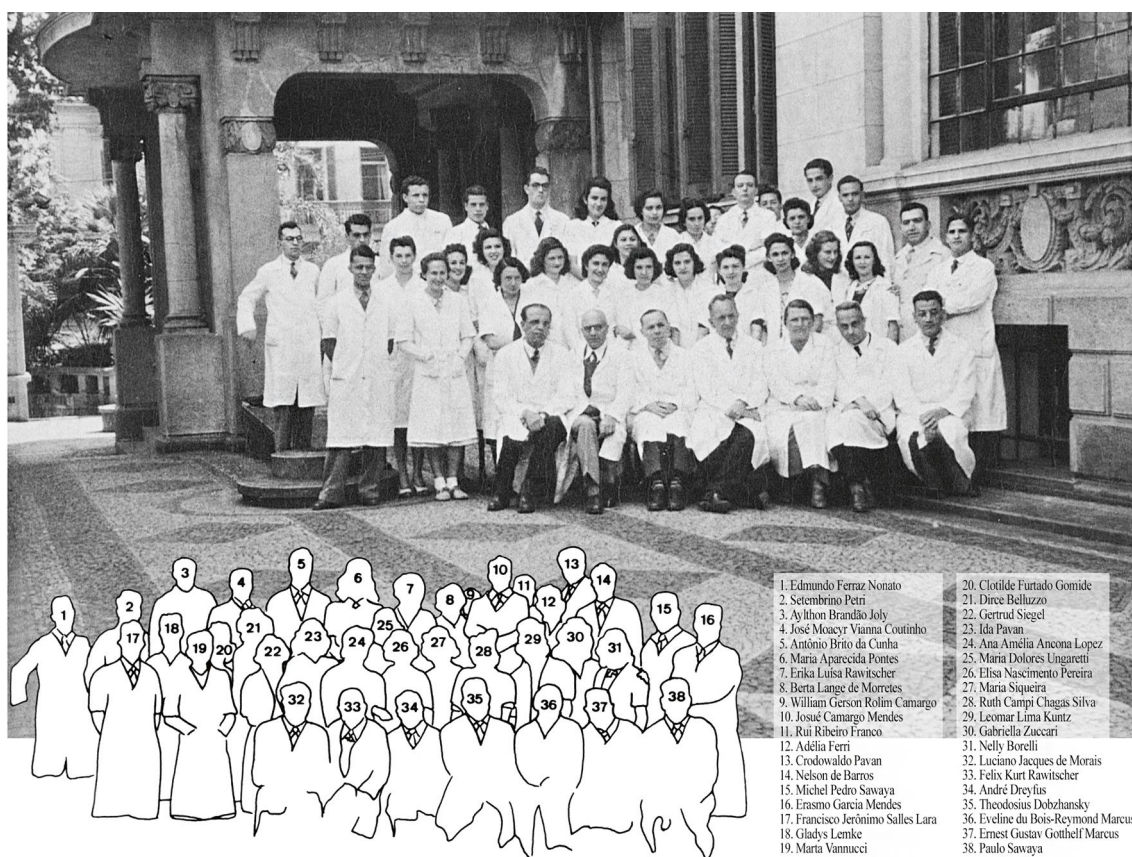
Ю.Я. Керкис, Я.Я. Лус, Н.Н. Медведев, Ю.Л. Горошенко, М.Л. Бельговский. Имена заочных учеников просто невозможно перечислить. Во время пребывания в Бразилии в 1943–1956 гг. Добржанский внёс огромный вклад в развитие генетики в этой стране, а также совместно с бразильским генетиком А. Дрейфусом организовал группу молодых исследователей в Университете Сан-Паулу, в которую вошли К. Паван, А. Брито да Кунья, А.Р. Кордейру и Р. де Баррос. Группа занималась изучением популяционной генетики дрозофилы, уделяя особое внимание хромосомной изменчивости у различных видов в разных штатах Бразилии [5, 6].

Критика лысенкоизма и возрождение отечественной генетики. Ф.Г. Добржанский подвергал критике почти все наиболее значительные неदारвиновские концепции эволюции XX в., в первую очередь лысенкоизм [40]. Когда зарубежные генетики решились на публичное осуждение сначала самого Т.Д. Лысенко и его сторонников, а потом и лысенкоизма как особого феномена в науке XX в., то они (и, конечно же, Феофан Григорьевич) тут же были причислены к реакционерам [41]. В отличие от западных коллег Добржанский непосредственно участвовал в процессе становления и развития советской генетики в 1920-е годы и хорошо знал учёных, ставших жертвами лысенкоизма.

В 1946–1947 гг. Добржанский в своей критике ещё не затрагивал социально-политические и культурно-исторические аспекты лысенкоизма. Он начал с перевода на английский язык книги Т.Д. Лысенко “О наследственности и изменчивости” [42], предоставляя западным читателям возможность самим ознакомиться со взглядами автора и вынести о них собственное суждение. Феофан Григорьевич ограничился доказательством теоретической и экспериментальной несостоятельности притязаний Лысенко [43], а также демонстрацией того, что его “теории” не что иное, как возврат к идеям и гипотезам давно минувшего прошлого.

До 1948 г. Добржанскому и другим западным генетикам казалось, что лысенкоизм не представляет реальной угрозы развитию генетики в СССР. После 1948 г. научное сообщество пришло к выводу, что причины разгрома генетики и воцарения лысенкоизма преимущественно политические. В обстоятельной статье того периода Феофан Григорьевич писал: “Причины краха советской биологии лежат вне биологии или сельского хозяйства” [44, с. 343]. Западные специалисты оценивали лысенкоизм как социально-политическое явление и пытались установить причины его зарождения.

Ф.Г. Добржанский считал, что в СССР отношение власти к науке имело двойственный характер.



Ф.Г. Добржанский (нижний ряд в центре) с бразильскими коллегами. 1943 г.

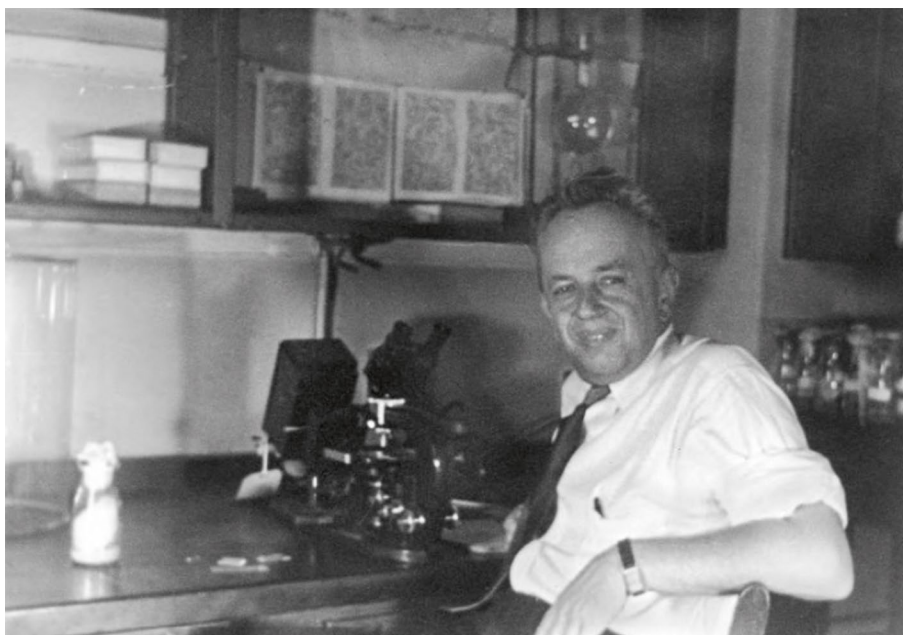
С одной стороны, наука и учёные занимали привилегированное положение: “Жажда знаний среди населения СССР огромна, искренна и трогательна. Конечно, это особенно верно по отношению к молодёжи, но большим уважением наука пользуется и среди старших групп. А кроме того, это уважение никоим образом не ограничивается образованным меньшинством, оно является частью мировоззрения всего сообщества” [45, с. 40]. “Советское правительство последовательно заявляло, с первых дней своего существования по настоящее время, что науке дано право получать и она в действительности получает самую щедрую поддержку от государства” [44, с. 329]. В 1920–1930-е годы “СССР был ведущей страной в области генетики, уступая разве только Соединённым Штатам” [45, с. 40].

Однако у этой золотой медали была и оборотная сторона. Правительство и коммунистическая партия всегда утверждали, что проводимая ими политика строго научная. Политические лидеры, в первую очередь В.И. Ленин и И.В. Сталин, были возведены в ранг научных гениев [44, с. 346]. В итоге проблема истины из гносеологической превратилась в политическую и стала прерогативой коммунистической партии, её Центрального комитета и И.В. Сталина. Добржанский не возражал против контроля за развитием науки как такового, ибо всякое современное общество в определённой степени наблюдает за наукой и использует её. Вопрос лишь в том, “какие формы этого контроля будут иметь место и какими средствами он будет осуществляться” [44, с. 330]. Объективные причины поддержки Т.Д. Лысенко состояли в изменении партийной политики, которая с начала 1930-х годов допускала только такую научную критику, которая способствовала строительству коммунизма... Субъективные мотивы официальной поддержки Лысенко Добржанский усматривал в вере официальных лиц в то, что этому “пионеру” и “новатору” противостоят закоренелые консерваторы [44, с. 346].

Основное отличие позиции Феодосия Григорьевича от мнения западных критиков лысенкоизма заключается в том, что он не ставил знак равенства между коммунистическим мировоззрением (марксизмом) и официальной сталинской идеологией и политикой. Он не поддерживал тех, кто утверждал, что генетика и современная биология идут вразрез с коммунистической идеологией. Ведь биологические и генетические теории вовсе не противоречат идее социального или общественного равенства [44, с. 342]. Добржанский был искренне заинтересован в успешном развитии генетики в СССР, убеждён в её большом потенциале и высоко оценивал достижения советских учёных. В статье “Возрождение генетики в СССР”, которая представляла собой рецензию сразу на шесть книг по генетике, вышедших в СССР в 1960-е годы, он писал, что после господства Т.Д. Лысенко с 1938 по 1963 г. перед советскими учёными встала задача восстановления генетики, и, судя по рецензируемым книгам, они с ней с честью справляются [46, с. 56].

Как только лысенкоизм стал ослабевать, Феодосию Григорьевичу удалось восстановить контакты с коллегами из СССР на XV Зоологическом конгрессе в Лондоне в 1958 г. В день официального начала конгресса, 16 июля 1958 г., он встретился с Ю.И. Полянским, с которым был знаком ещё по Ленинграду, и Е.М. Хейсиным. Он до полуночи просидел с ними в гостинице, помогая написать их доклады по-английски, а ещё они разговаривали о России. По воспоминаниям Добржанского, самыми ценными для него стали беседы с русскими делегатами, хорошие, дружеские, без всяких “перегородок”. Он обзавёлся длинным списком фамилий и адресов коллег из России. В нём были такие известные биологи, как А.Е. Гайсинович, Ю.И. Полянский, Е.М. Хейсин, Р.Л. Берг, Н.П. Дубинин, М.Л. Бельговский, Н.Н. Соколов, Б.Н. Сидоров, А.В. Сахаров, Б.Л. Астауров, В.В. Алпатов, М.С. Навашин, Ю.Я. Керкис, М.М. Камшилов, Д.К. Беляев [17]. Однако по-настоящему переписка возобновилась после XII Генетического конгресса в Токио в 1968 г., в первую очередь с друзьями молодости [47, с. 208, 209]. Феодосий Григорьевич пользовался авторитетом и среди научной молодёжи. Из письма Ю.И. Новожёнова из Свердловска 27 апреля 1967 г.: “Во все времена мы восторгались Вашими опытами и обобщениями и в душе гордились Вами” [15, с. 338]. Стоит отметить, что между Добржанским и его корреспондентами был налажен активный книгообмен, это были не только книги по специальности, но и по истории, искусству, философии, а также художественная литература [21].

От эволюции дрозофилы к эволюции человека. К проблемам эволюции человека Ф.Г. Добржанский обратился уже в 1950-х годах, опубликовав целый ряд статей и книг, а также рецензии на работы других авторов. Основным его трудом стала книга “Эволюционирующее человечество: эволюция человеческого вида” [48], считавшаяся в научных кругах такой же важной, как и его первая книга, и признанная непревзойдённым синтезом генетики, эволюционной теории, антропологии и социологии [49, с. 167]. Её лейтмотив – человеческое разнообразие, расы и эволюция. Согласно Добржанскому, эволюционная теория даёт научное понимание понятию расы, которым долго и часто злоупотребляли. Он не раз критиковал расистские и социал-дарвинистские концепции, подчёркивая, что проблемы равенства и справедливости являются социальными, а не биологическими, и решаться они должны соответствующим образом. В качестве эксперта он участвовал в подготовке Декларации ЮНЕСКО о расе 1950 г. [50, с. 35]. Взяв за основу теорию эволюции и оперируя разнообразными данными о современных расах и предках человека, он доказал, что на протяжении всей своей эволюции человек был единым видом, что все рассуждения о биологической неполноценности или отставании одних рас и превосходстве других абсолютно не-



За рабочим столом. 1959 г.

научны. Феодосий Григорьевич подчёркивал, что биологические, в том числе расовые, различия между людьми — не помеха на пути к действительному человеческому равенству, а, напротив, предпосылка к его достижению.

Добжанский настаивал на том, что человеческая природа имеет две составляющие: биологическую, которая объединяет человечество со всем органическим миром, и культурную, свойственную исключительно человеку. Культурная эволюция протекает по своим собственным законам, и ей, бесспорно, принадлежит ведущая роль в современном мире. Однако она не отменяет эволюцию биологическую, более того — они взаимосвязаны и взаимозависимы.

Философия биологии и предельные вопросы бытия. Ф.Г. Добжанский всегда интересовался “предельными вопросами” бытия [51], в том числе такими философскими проблемами эволюционной биологии, как необходимость и случайность, детерминизм и индетерминизм, вероятностный характер эволюционного процесса. В работе, посвящённой природе научного объяснения в эволюционных исследованиях, он так определяет одну из особенностей детерминизма своего времени (из-за которой он стал обозначаться термином “индетерминизм”): “Индетерминизм является результатом диспропорции между огромной мощностью полового процесса, создающего новые генотипы, и ограниченной мощностью экспериментатора, создающего большие лабора-



Ф.Г. Добжанский, С.И. Алиханян и Д.К. Беляев в кулуарах XII Международного генетического конгресса в Токио. 1968 г.

торные популяции. Мы можем предсказать средний результат и изменение, наблюдаемое в экспериментальных популяциях смешанного географического происхождения” [52, с. 221]. Это утверждение Добржанский обосновывал результатами, которые “в экспериментальных популяциях с хромосомами географически разного происхождения не повторялись и были непредсказуемыми” [53, с. 13, 14]. Исходя из этого, он предложил перенести известный в физике принцип неопределённости на биологию. В целом эволюция есть “творческий процесс, потому что она создаёт новое, которое никогда не существовало в прошлом. Генотип каждой личности, каждой мушки или каждого зернового растения отличается от всякого другого... Творческая эволюция подобна творчеству художника” [53, с. 17, 19].

Далеко не случайно в своей последней работе по философским проблемам синтетической теории эволюции он писал о диалектике биологической эволюции [54]. В ней также затронута проблема детерминизма, в частности, вопрос о соотношении случайности и причинности в эволюции: “Случайное событие не является акаузальным, и не является манифестацией некоего принципа спонтанности, присущего живой природе”. Далее приводится высказывание Э. Нэгеля, который, вслед за Г.В. Плехановым, определяет случайное событие как такое, которое происходит на пересечении двух независимых каузальных цепей [54, с. 313]. Рассматривая эволюцию человека, Добржанский прямо указывает на необходимость обращения к диалектическому материализму в эволюционном исследовании: «Мы не возникли благодаря случаю и не были предопределены возникнуть. В эволюции случайность и предопределение не альтернативны. Здесь один из тех случаев в научной теории, когда мы должны призвать некую разновидность гегельянской или марксистской диалектики. Мы нуждаемся в синтезе “тезиса” случайности с “антитезисом” предопределённости» [54, с. 329].

Ф.Г. Добржанский всегда был верующим, но наиболее сильно он утвердился в вере, когда переосмыслил религиозные ответы на “предельные вопросы” бытия и поставил сами эти вопросы по-новому, эволюционно. Он пришёл к ряду мировоззренческих и общекультурных выводов и делился ими не только с коллегами, но и с другими людьми. Он попытался обосновать и оправдать свою веру в Бога с помощью эволюционной теории, совместить науку, в первую очередь эволюционную теорию, и религию. Однако его порывы не встретили того понимания, на которое он рассчитывал, ни среди учёных, ни среди деятелей церкви и теологов [55].

Наблюдения странствующего натуралиста. Помимо непосредственного вклада в науку, большое значение имеют неопубликованное интервью Ф.Г. Добржанского американской журналистке Б. Лэнд [18, 56], на основе которого она впослед-

ствии написала биографическую книгу [57], а также его личный архив [16], состоящий главным образом из переписки с зарубежными и отечественными учёными и дневника [15]. Дневник богат и разнообразен по содержанию. Прежде всего Феодосия Григорьевича интересовала природа, которой он восхищался везде, где только можно: через иллюминатор самолёта, из автомобиля, с палубы парохода, с лодки, верхом на лошади, во время пеших прогулок. При этом он делал записи не только как естествоиспытатель и натуралист, но и благодаря образованности и начитанности как этнограф, антрополог и культуролог.

В дневнике описаны эпизоды и фигуры из истории отечественной и зарубежной академической и университетской науки, особенности экономики, политики, культуры, повседневной жизни в тех странах, где Добржанскому довелось побывать, судьбы людей, в том числе русских эмигрантов в США и других странах. Он часто давал оценки событиям и людям разного социального положения, взглядов и характеров, в первую очередь учёным, что позволяет получить достаточно полное представление о мировоззрении автора, по его собственному выражению, “интеллигента со старорусской подкладкой”, его убеждениях и вкусах, вере, политических и иных пристрастиях, личных симпатиях и антипатиях, характере и отношении к родине.

Для понимания отношения Ф.Г. Добржанского к Советскому Союзу наиболее показательны записи 1942–1943 гг., а также конца 1940-х — начала 1950-х годов, когда угроза ядерной войны между США и СССР была вполне реальной. Но, наверное, самыми яркими были две краткие записи. Первая — 17 января 1960 г. в Дели: “Наконец отправились на с.-х. выставку, где собирались посмотреть американский и русский павильоны. Но именно это собирались делать так много других людей, и поэтому стояли столь длинные очереди, что нам пришлось уйти несолоно хлебавши. Или вернее — видели, что в мире остались только 2 великие державы. Остальное — мелюзга, и в их павильоны можно было идти свободно, но мало кто этим интересовался!” [15]. Вторая — 31 августа 1970 г. в Австрии после прогулки по берегу Дуная: «Мимо плыли 3 огромные баржи и тянувший их пароход “Курск”. Куда едут и что везут, не знаю, но плавали ли по Дунаю русские пароходы при царе-батюшке?» [15].

Человек — незаконченный эксперимент. Итог жизни Ф.Г. Добржанского может быть охарактеризован, хотя и не полностью, одной краткой формулой, принадлежащей ему самому: “Ничто в биологии не имеет смысла, кроме как в свете эволюции”. Эту фразу учёный впервые использовал в качестве названия для доклада, с которым выступил на заседании Национальной ассоциации американских учителей биологии [58]. Неполнота этого афоризма в том, что, несмотря на всю приверженность Добржан-

ского науке, не познание эволюции было для него самоцелью. Он часто повторял, что знание биологии и эволюции необходимо для того, чтобы человек лучше понимал себя и своё место во Вселенной, что он — “незаконченный эксперимент”, и научился управлять эволюцией собственной и всего того мира, органической частью которого он является, делал себя и мир лучше.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданов Н.Н.* Его родословная // Природа. 2000. № 12. С. 65–67.
Bogdanov N.N. His pedigree // Priroda. 2000, no. 12, pp. 65–67. (In Russ.)
2. *Захаров И.А.* К 100-летию Феодосия Григорьевича Добржанского // Генетика. 2000. № 2. С. 297–298.
Zakharov I.A. On the 100th anniversary of Feodosiy Grigorievich Dobzhansky // Genetics. 2000, no. 2, pp. 297–298. (In Russ.)
3. *Конашев М.Б.* Учёный в разделённом мире: Ф.Г. Добржанский и становление биологии в начале века // Науковедение. 2000. № 3. С. 209–224.
Konashev M.B. Scientist in the Divided World: Th. Dobzhansky and the Formation of Biology at the Beginning of the Century // Naukovedenie. 2000, no. 3, pp. 209–224. (In Russ.)
4. *Barahona A., Ayala F.J.* Theodosius Dobzhansky's role in the emergence and institutionalization of genetics in Mexico // Genetics. 2005, vol. 170, pp. 981–987.
5. *de Araujo A.M.* Spreading the evolutionary synthesis: Theodosius Dobzhansky and genetics in Brazil // Genetics and Molecular Biology. 2004, vol. 27, pp. 467–475.
6. *de Carvalho T.B.* Modern Evolutionary Biology and Brazilian Population Genetics: Theodosius Dobzhansky at the University of São Paulo // Perspectives on Science. 2020, vol. 28, pp. 223–243.
7. *Depew D.J.* Richard Lewontin and Theodosius Dobzhansky: Genetics, Race, and the Anxiety of Influence // Biological Theory. 2024, vol. 19, pp. 151–167.
8. *Farber P.L.* Dobzhansky and Montagu's Debate on Race: The Aftermath // J. Hist. Biol. 2016, vol. 49, pp. 625–639.
9. *Konashev M.B.* Th. Dobzhansky and the Development of Evolutionary Biology in the USSR // Hist. Sci. 2019, vol. 57, pp. 346–371.
10. *Konashev M.B.* The Russian Backdrop to Dobzhansky's Genetics and the Origin of Species // J. Hist. Biol. 2023, vol. 56, pp. 285–307.
11. *Smocovitis V.B.* Keeping up with Dobzhansky: G. Ledyard Stebbins, Jr., plant evolution, and the evolutionary synthesis // Hist. Philos. Life Sci. 2006, vol. 28, pp. 9–47.
12. *van der Meer J.M.* Theodosius Dobzhansky (1900–1975) // Eminent Lives in Twentieth-Century. Science & Religion / Ed. by N.A. Rupke. N.Y.—Oxford: Peter Lang, 2007. Pp. 79–101.
13. *Welch J.J.* Accumulating Dobzhansky-Muller incompatibilities: reconciling theory and data // Evolution. 2004, vol. 58, pp. 1145–1156.
14. Максимум возможного (Переписка Ф.Г. Добржанского с отечественными биологами: 1920–1970 гг.). Ч. 1. Переписка Ф.Г. Добржанского с отечественными биологами: 1920–1930-е гг. / Ред.-сост. М.Б. Конашев. СПб.: Нестор-История, 2014.
The maximum possible (Th. Dobzhansky's correspondence with Russian biologists: 1920–1970). Part 1. Th. Dobzhansky's correspondence with Russian biologists: 1920–1930 / Ed.-comp. M.B. Konashev. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2014. (In Russ.)
15. Максимум возможного (Переписка Ф.Г. Добржанского с отечественными биологами: 1920–1970 гг.). Ч. 2. Переписка Ф.Г. Добржанского с отечественными биологами: 1950–1937-е гг. / Ред.-сост. М.Б. Конашев. СПб.: Нестор-История, 2019.
The maximum possible (Th. Dobzhansky's correspondence with Russian biologists: 1920–1970). Part 2. Th. Dobzhansky's correspondence with Russian biologists: 1950–1937 / Ed.-comp. M.B. Konashev. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2019. (In Russ.)
16. *Конашев М.Б.* Личный архив Ф.Г. Добржанского в библиотеке Американского философского общества // Отечественные архивы. 2024. № 5. С. 84–95.
Konashev M.B. Personal archive of Th. Dobzhansky in the Library of the American Philosophical Society // Russian archives. 2024, no. 5, pp. 84–95. (In Russ.)
17. APSL (American Philosophical Society Library). B:D 65. Th. Dobzhansky Papers. Notebooks. Box 1–3. 1934–1975.
18. *Dobzhansky Th.* The Reminiscences of Theodosius Dobzhansky. Part I. N.Y.: Columbia University, Oral History Research Office, 1962.
19. *Конашев М.Б.* Страсти по Феодосию, или как и почему Ф.Г. Добржанский стал “невозвращенцем” // Вестник ВОГиС. 2013. № 1. С. 202–209.
Konashev M.B. Passions for Feodosiy, or how and why Th.G. Dobzhansky became a “defector” // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2013, no. 1, pp. 202–209. (In Russ.)
20. *Дубинин Н.П.* История и трагедия советской генетики. Философские проблемы генетики. М.: Наука, 2002.
Dubin N.P. The history and tragedy of Soviet genetics. Philosophical problems of genetics. Moscow: Nauka, 2002. (In Russ.)
21. *Конашев М.Б.* Отечественные генетики на родине и за рубежом: наука, книга, общество // На переломе. Отечественная наука в конце XIX–XX века: источники, исследования, историография. Вып. 3 / Под ред. Э.И. Колчинского, М.Б. Конашева. СПб.: Нестор-История, 2005. С. 361–389.

- Konashev M.B.* Russian geneticists on the native land and abroad: science, book, and society // At the breaking point. Russian science in the late 19th – 20th century: sources, research, historiography. Iss. 3 / Ed. by E.I. Kolchinsky, M.B. Konashev. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2005. Pp. 361–389. (In Russ.)
22. *Конашев М.Б.* Как Николай Владимирович перебежал дорогу Феодосию Григорьевичу (об одном из аспектов несостоявшегося переезда Н.В. Тимофеева-Ресовского в США) // Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция. М.: ИИЕТ РАН, 2023. С. 301–303.
Konashev M.B. How Nikolai Vladimirovich crossed the road to Theodosius Grigorievich (on one of the aspects of the failed move of N.V. Timofeev-Resovsky to the USA) // S.I. Vavilov Institute of the History of Natural Sciences and Technology. Annual Scientific conference. Moscow: IHST RAS, 2023. Pp. 301–303. (In Russ.)
 23. *Provine W.B.* Origins of the genetics of natural populations series // Dobzhansky's genetics of natural populations I-XLIII / Ed. by R.C. Lewontin et al. N.Y.: Columbia University Press, 1981. Pp. 1–83.
 24. *Добжжанский Ф.Г.* Описание нового вида рода *Coccinella* из окрестностей Киева // Материалы к познанию фауны Юго-Западной России, издаваемые Киевским орнитологическим обществом имени К.Ф. Кесслера. 1917. Вып. 2. С. 46–47.
Dobzhansky Th. Description of a new species of the genus *Coccinella* from the vicinity of Kiev // Materials for the knowledge of the fauna of Southwestern Russia, published by the Kiev Ornithological Society named after K.F. Kessler. 1917, iss. 2, pp. 46–47. (In Russ.)
 25. *Dobzhansky Th.* Die geographische und individuelle Variabilität von *Harmonia axyridis* Pallas in ihren Wechselbeziehungen // Biol. Zentralbl. 1924, Bd. 44, S. 401–421.
 26. *Добжжанский Ф.Г.* Материалы для фауны *Coccinelidae* Семиречья // Русское энтомологическое обозрение. 1927. Т. 21. № 1–2. С. 43–52.
Dobzhansky Th. Materials for the *Coccinelidae* fauna of the Semirechye region // Russian Entomological Review. 1927, vol. 21, no. 1–2, pp. 43–52. (In Russ.)
 27. *Dobzhansky Th.* The North American beetles of the genus *Coccinella* // Proc. U.S. Nat. Mus. 1931, vol. 80, pp. 1–32.
 28. *Dobzhansky Th.* Über den Bau des Geschlechtsapparats einiger Mutanten von *Drosophila melanogaster* Meig. // Z. Indukt. Abstamm. Vererbungsl. 1924, Bd. 34, S. 245–248.
 29. *Dobzhansky Th.* Studies on the manifold effect of certain genes in *Drosophila melanogaster* // Z. Indukt. Abstamm. Vererbungsl. 1927, Bd. 43, S. 330–388.
 30. *Конашев М.Б. Ф.Г.* Добжжанский: генетик, эволюционист, гуманист // Вопросы истории естествознания и техники. 1991. № 1. С. 56–71.
Konashev M.B. Th. Dobzhansky: geneticist, evolutionist, humanist // Problems of the history of natural science and technology. 1991, no. 1, pp. 56–71. (In Russ.)
 31. *Wright C.* The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding, and selection in evolution // Proc. 6th Int. Cong. Genetics. 1932, vol. 1, pp. 356–366.
 32. *Dobzhansky Th.* A critique of the species concept in biology // Philos. Sci. 1935, vol. 2, pp. 344–355.
 33. *Dobzhansky Th.* Genetics and the Origin of Species. (Columbia Biological Series, no. 11.) N.Y.: Columbia University Press, 1937; 2nd ed., 1941; 3rd ed., 1951.
 34. *Ayala F.* “Nothing in biology make sense except in the light of evolution”. Theodosius Dobzhansky: 1900–1975 // J. Hered. 1977, vol. 68, pp. 3–10.
 35. *Mayr E.* Systematics and the Origin of Species. N.Y.: Columbia University Press, 1942.
 36. *Simpson G.G.* Tempo and Mode in Evolution. N.Y.: Columbia University Press, 1944.
 37. *Stebbins G.L.* Variation and Evolution in Plants. N.Y.: Columbia University Press, 1950.
 38. *Dobzhansky Th.* Genetics of the Evolutionary Process. N.Y.–London: Columbia University Press, 1970.
 39. Dobzhansky's genetics of natural populations I-XLIII / Ed. by R.C. Lewontin et al. N.Y.: Columbia University Press, 1981.
 40. *Конашев М.Б.* “На поприще клеветы против советских биологов” (критика Ф.Г. Добжжанским лысенкоизма) // Эволюционная биология. Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. 1994. Т. 90. Вып. 1. С. 60–74.
Konashev M.B. “In the field of slander against Soviet biologists” (Th. Dobzhansky's criticism of lysenkoism) // Evolutionary Biology. Proceedings of the St. Petersburg Society of Natural Scientists. 1994, vol. 90, iss. 1, pp. 60–74. (In Russ.)
 41. *Лантнев И.* Антипатриотические поступки под флагом “научной” критики // Правда. 2 сентября 1947 г.
Laptev I. Anti-patriotic acts under the banner of “scientific” criticism // Pravda. September 2, 1947. (In Russ.)
 42. *Lysenko T.D.* Heredity and Its Variability / Transl. by Th. Dobzhansky. N.Y.: King's Crown Press, 1946.
 43. *Dobzhansky Th.* Lysenko's “genetics” // J. Hered. 1946, vol. 37, pp. 5–9.
 44. *Dobzhansky Th.* The crisis in Soviet biology // Ed. by E.J. Simmons. Continuity and Change in Russian and Soviet Thought. Cambridge: Harvard University Press, 1955. Pp. 329–346.
 45. *Dobzhansky Th.* Lysenko's “michurinist” genetics // Bull. Atomic Scientists. 1952, vol. 8, pp. 40–44.

46. *Dobzhansky Th.* Revival of genetics in the USSR // *Quart. Rev. Biol.* 1968, vol. 43, pp. 56–59.
47. *Конашев М.Б.* Ровесник генетики, ровесник века: Ф.Г. Добржанский (1900–1975 гг.) // *Деятели русской науки XIX–XX веков. Вып. 4.* СПб.: Нестор-История, 2008. С. 193–228.
Konashev M.B. The same age as genetics, the same age as the century: Th. Dobzhansky (1900–1975) // *Figures of Russian science of the XIX–XX centuries. Iss. 4.* St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2008. Pp. 193–228. (In Russ.)
48. *Dobzhansky Th.* *Mankind Evolving: The Evolution of the Human Species.* New Haven: Yale University Press, 1962.
49. *Ayala F.J.* Theodosius Dobzhansky // *Biogr. Mem. Nat. Acad. Sci.* 1985, vol. 55, pp. 163–213.
50. Four statements on the race question. Paris: Unesco, 1969.
51. *Dobzhansky Th.* *The Biology of Ultimate Concern.* N.Y.: The New American Library, 1967.
52. *Dobzhansky Th.* Scientific explanation: Chance and antichance in organic evolution // Ed. by B. Baumrin. *Philosophy of Science. Vol. 1.* N.Y.: Interscience, 1963. Pp. 209–222.
53. *Добржанский Т.* Детерминизм и индетерминизм в биологии // *Философские вопросы биологии и биокибернетики.* 1970. Вып. 3. С. 5–19.
Dobzhansky Th. Determinism and indeterminism in biology // *Philosophical issues of biology and biocybernetics.* 1970, iss. 3, pp. 5–19. (In Russ.)
54. *Dobzhansky Th.* Chance and creativity in evolution // Ed. by F.J. Ayala, Th. Dobzhansky. *Studies in the Philosophy of Biology.* N.Y.: Macmillan Press, 1974. Pp. 307–338.
55. *Конашев М.Б.* Добржанский и религия // *Человек.* 2010. № 1. С. 30–48.
Konashev M.B. Dobzhansky and religion // *Chelovek.* 2010, no. 1, pp. 30–48. (In Russ.)
56. *Dobzhansky Th.* *The Reminiscences of Theodosius Dobzhansky. Part II.* N.Y.: Columbia University, Oral History Research Office, 1963.
57. *Land B.* *Evolution of a Scientist: The Two Worlds of Th. Dobzhansky.* N.Y.: Thomas Y. Crowell Company, 1973.
58. *Dobzhansky Th.* Nothing in biology makes sense except in the light of evolution // *The American Biology Teacher.* 1973, vol. 35, pp. 125–129.

“NO, OBVIOUSLY THAT’S NOT MY NATURE”

ON THE 125th ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF TH. DOBZHANSKY

M.B. Konashev^{a,*}

^a*Saint Petersburg Branch of the S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia*

^{*}*E-mail: mbkonashev@mail.ru*

Russian and foreign archival materials reflect the enormous contribution of Th. Dobzhansky, a Russian and American geneticist, evolutionist and humanist, to the development of evolutionary biology in the 20th century, primarily genetics and the synthetic theory of evolution. No less interesting is the multifaceted personality of the scientist: his worldview and faith, cultural interests, beliefs and political views, his opinion of colleagues, historical and political figures, emigrants from tsarist Russia and the USSR, whom he met in the USA and other countries during expeditions and work trips. His attitude to his homeland and his perception of scientific and political events in the USSR and other countries in the context of national and world history are particularly emphasized.

Keywords: Th. Dobzhansky, genetics, evolutionary theory, emigration, Russians abroad, history of science.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

БОЛЬШАЯ ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА 2024 ГОДА – А.Н. КОНОВАЛОВУ И Л. РАЗУЛИЧУ

Президиум РАН присудил Большую золотую медаль Российской академии наук им. М.В. Ломоносова 2024 года академику РАН Александру Николаевичу

Конвалову и профессору Лукасу Разуличу (Сербия) за выдающийся вклад в развитие фундаментальных и прикладных основ нейрохирургии.

АКАДЕМИК РАН АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ КОНОВАЛОВ



А.Н. Коновалов – выдающийся нейрохирург с мировым именем, занимающийся фундаментальными и прикладными аспектами нейрохирургии, неврологии и клинической физиологии нервной системы. Он научно обосновал и внедрил в медицинскую практику новое направление – микронеурхирургию. Это сделало доступной для щадящего хирургического вмешательства практически

любую область внутричерепного пространства и любое образование головного мозга, а также расширило представление о физиологии и патофизиологии гипоталамо-гипофизарной зоны и ствола мозга человека.

Благодаря исследованиям академика, его учеников и сотрудников было сформировано современное учение о компенсаторно-приспособительных процессах центральной нервной системы при очаговых поражениях головного мозга, которое легло в основу концепции эффективного восстановительного лечения. При участии А.Н. Конвалова и под его руководством были достигнуты большие успехи в хирургическом лечении сосудистых поражений и труднодоступных опухолей головного мозга: основания черепа, хиазмально-диэнцефальной и пинеальной областей, краниофациальных локализаций, опухолей и хронических гематом ствола мозга. За 65 лет активной хирургической деятельности он прооперировал более 10 тыс. пациентов с наиболее сложной нейрохирургической патологией.

А.Н. Коновалов пользуется авторитетом в России и за рубежом, неоднократно избирался вице-президентом Всемирной федерации нейрохирургических обществ и Европейской ассоциации нейрохирургических обществ, является членом многих нейрохирургических обществ США, Европы и Азии, председателем диссертационного совета и локального этического комитета НМИЦ нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко Минздрава России. Он занимает должность главного редактора журнала “Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко”, состоит в редакционных коллегиях зарубежных журналов “Neurosurgery” и “Surgical Neurology”.

Академик РАН А.Н. Коновалов – Герой Труда Российской Федерации (2013), Заслуженный деятель науки Российской Федерации, почётный президент НМИЦ нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко Минздрава России, лауреат Государственной премии СССР (1985) и Российской Федерации (1995, 2006), премии Правительства РФ (2006, 2022 г.), Большой золотой медали РАН им. Н.И. Пирогова (2017), российской независимой премии “Триумф”, премии имени Святослава Фёдорова, международной премии “Профессия – Жизнь”, награждён орденами “Трудового Красного Знамени”, “Дружбы народов”, “За заслуги перед Отечеством” III, II и I степеней, золотым почётным знаком “Общественное признание”.

А.Н. Коновалов основал школу современных нейрохирургов. Под его руководством защищено 46 кандидатских и докторских диссертаций. Им опубликовано более 440 научных работ, в том числе 15 монографий, руководств, справочников и учебников.

ЛУКАС РАЗУЛИЧ (СЕРБИЯ)



Л. Разулич — профессор нейрохирургии, заведующий отделением хирургии периферических нервов, функциональной нейрохирургии и хирургии лечения боли Клиники нейрохирургии Университетского клинического центра Сербии. В его научных трудах широко освещаются направления современной нейрохирургии. Особое внимание

уделяется достижениям в диагностике и хирургической технике, инновационным технологиям и микрохирургическим вмешательствам по поводу повреждений и заболеваний периферических нервов, плечевого сплетения. Продвигая мультидисциплинарный подход к лечению этих заболеваний, Л. Разулич поощряет совместную работу и взаимодействие экспертов по нейрохирургии, сосудистой хирургии, ортопедии, микрохирургии, неврологии,

отоларингологии, челюстно-лицевой хирургии, физиотерапии и реабилитации. Он накопил большой опыт в области хирургии периферической нервной системы, в частности, в реконструктивных операциях при комплексном лечении повреждений и заболеваний периферических нервов, особенно плечевого сплетения. Кроме того, он занимается рядом других патологий: внутричерепные опухоли, аневризмы, черепно-мозговые травмы, гидроцефалия (установка шунта), дегенеративные заболевания позвоночника, опухоли спинного мозга. Он содействовал внедрению в стандартную практику многочисленных нейрохирургических доступов, техник и методов, связанных с хирургией периферических нервов, которые в Сербии ранее не применялись.

Он автор и соавтор 887 научных работ, член редколлегии многих научных журналов, состоит в большинстве профессиональных сообществ. Под его руководством защищено 43 диссертации (бакалавриат, магистратура и докторантура).