

Том 93, Номер 5

ISSN 0869-5873

Май 2023



ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

www.sciencejournals.ru



СОДЕРЖАНИЕ

Том 93, номер 5, 2023

К 300-летию Российской академии наук

- А. А. Тишков*
Три века академической географии в России 403
-

Наука и общество

- А. Д. Некипелов*
Поиск социального оптимума: погоня за призраком? 415
-

Обозрение

- В. А. Крюков, О. В. Жданеев, В. А. Яценко, К. Н. Фролов*
Постоянные неодимовые магниты в Российской ветроэнергетике 428
- А. О. Аверьянов, А. В. Лопатин*
Динозавры России: завроподы (Sauropodomorpha) 439
-

Проблемы экологии

- А. В. Дмитриев, А. В. Леднёв*
Баланс углерода на постагрогенных дерново-подзолистых почвах 445
-

Из рабочей тетради исследователя

- И. С. Зверев, А. М. Расулова, С. Д. Голосов, С. А. Кондратьев*
Дистанционная оценка характеристик неизученных озёр северных территорий 456
- О. В. Ходакова, Л. В. Руголь, И. А. Соломатников, И. О. Камаева,
И. А. Деев, О. С. Кобякова*
Влияние мер социальной поддержки на обеспечение региональных систем
здравоохранения кадрами 462
-

Этюды об учёных

- В. С. Лисица, Л. К. Кузнецова, А. Б. Кукушкин*
Научные школы живы стандартами их создателя
К 120-летию со дня рождения академика М.А. Леонтовича 470
- В. П. Ильин*
Советский опыт управления отраслевой и академической наукой
Памяти академика Г.И. Марчука 479
-

В мире книг

- И. Ю. Рассказов*
Рецензия на книгу К.Н. Трубецкого, Ю.П. Галченко “Природоподобная
технология комплексного освоения недр — проблемы и перспективы” 486
-

Официальный отдел

- Награды и премии 489
-

CONTENTS

Vol. 93, No. 5, 2023

To the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences

- A. A. Tishkov*
Three Centuries of Academic Geography in Russia 403
-

Science and society

- A. D. Nekipelov*
The search for the social optimum: chasing a ghost? 415
-

Review

- V. A. Kryukov, O. V. Zhdaneev, V. A. Yatsenko, K. N. Frolov*
Permanent neodymium magnets in the Russian wind power industry 428
- A. O. Averyanov, A. V. Lopatin*
Dinosaurs of Russia: sauropods (Sauropodomorpha) 439
-

Problems of ecology

- A. V. Dmitriev, A. V. Lednev*
Carbon balance on postagrogenic sod-podzolic soils 445
-

From the researcher's notebook

- I. S. Zverev, A. M. Rasulova, S. D. Golosov, S. A. Kondratiev*
Remote assessment of the characteristics of unexplored lakes of the northern territories 456
- O. V. Khodakova, L. V. Rugol, I. A. Solomatnikov, I. O. Kamaeva, I. A. Deev, O. S. Kobayakova*
The impact of social support measures on the provision of regional health systems with human resources 462
-

Profiles

- V. S. Lisitsa, L. K. Kuznetsova, A. B. Kukushkin*
Scientific schools are alive by the standards of their creator
To the 120th anniversary of the birth of Academician M.A. Leontovich 470
- V. P. Ilyin*
Soviet experience in the management of applied and academic science
In memory of Academician G.I. Marchuk 479
-

In the Book World

- I. Yu. Rasskazov*
Review of the book by K.N. Trubetskoy, Yu.P. Galchenko "Nature-like technology of integrated subsoil development – problems and prospects" 486
-

Official Section

- Awards and prizes 489
-

ТРИ ВЕКА АКАДЕМИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ В РОССИИ

© 2023 г. А. А. Тишков^{а,*}

^аИнститут географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: tishkov@igras.ru

Поступила в редакцию 25.02.2023 г.

После доработки 28.02.2023 г.

Принята к публикации 09.03.2023 г.

Академическая география — одна из самых востребованных в России наук. За 300 лет своего развития она прошла большой путь — результаты, полученные в многочисленных экспедициях поколениями исследователей, способствовали формированию единого геополитического пространства страны, стиранию белых пятен на карте Северной Евразии, мобилизации ресурсов для развития хозяйства. Академическая география XXI века, обладающая чертами мировоззренческой науки, стремится к тому, чтобы эффективно отвечать на острейшие современные вызовы, создавать, опираясь на новейшие методы исследований, основы будущего рационального пространственного развития России. В статье прослежена эволюция идей, методов и школ географии в Российской академии наук.

Ключевые слова: академическая география, история географической науки, академические экспедиции XVIII–XX вв., геополитическое пространство России, научные школы, географические институты, актуальные направления исследований.

DOI: 10.31857/S0869587323050109, EDN: VXCDWR

До начала XVIII в. стройная система географических знаний, по сути, отсутствовала. Да и сама наука к тому времени ещё не обрела достаточной дифференцированности, чтобы отслеживать и анализировать эволюцию идей и школ в каждом из её направлений. После античного этапа с его глубоким осмыслением имевшихся на тот период знаний о Земле в средние века наблюдался ощутимый застой. Импульс к систематизации географических знаний, к попыткам формирования научного методического аппарата дала эпоха Возрождения. В университетах, создававшихся в Европе в XVI–XVII вв., география выходила на ведущие позиции. Катализатором развития наук о Земле стали Великие географические открытия.



ТИШКОВ Аркадий Александрович — член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией биогеографии ИГ РАН.

Прирост географических знаний о Северной Евразии шёл в ту эпоху параллельно с расширением границ Российского государства. На время царствования Василия III и Ивана IV пришёлся пик этих взаимосвязанных процессов [1–4]: были организованы первые экспедиции в отдалённые районы страны, учреждён Приказ каменных дел (1584), подготовлены карты России в новых её границах (указ Ивана Грозного 1552 г. “Землю измерить и чертёж государству сделать...”) [5]. Вершиной картографии XVI в. стал “Большой Чертёж всему Московскому государству” 1598–1600 гг.

В начале петровских реформ в России учреждается Приказ рудокопных дел (1700), а позднее Берг-коллегия (1718), отвечавшая за развитие горнорудной промышленности. В 1701 г. в Москве открывается “Школа математических и навигацких наук”, действовавшая под контролем Оружейной палаты, Приказа морского флота и Адмиралтейской канцелярии. 1701 год знаменателен и подготовкой С.У. Ремезовым уникальной карты “Чертёж всех сибирских градов и земель” [6]. Важным достижением этого периода можно считать создание соратником Петра I Ф.И. Саймоновым и К.П. Ван-Верденом в 1720 г. карты Каспийского моря, подаренной Петром I Французской академии наук во время его визита в Париж в 1721 г.

Уже в начале деятельности Академии наук, учреждённой в 1724 г., отечественная школа наук о Земле (в её становлении велика роль трудов И.П. Кириллова, В.Н. Татищева, М.В. Ломоносова) формировалась как самобытная, нацеленная в большей мере на решение практических задач система знаний [3, 4]. Если в странах Западной Европы эти науки ориентировались на цели колонизации, морского судоходства и внешней торговли, то в России — на решение проблем заселения самого большого в мире евразийского массива суши — от Балтийского моря до Тихого океана, на развитие хозяйства Урала, Сибири и Забайкалья.

Формирование российской государственности неразрывно связано с географическим фактором, что способствовало востребованности достижений отечественной академической географии на протяжении всех 300 лет её истории. Уже в XVIII в. эта наука становится *созидающей*, активно участвует в закреплении позиций государства в Арктике, на Дальнем Востоке, в Сибири, Центральной Азии, Причерноморье. В XIX в. её миссию продолжали труды П.П. Семёнова-Тян-Шанского, а затем В.В. Докучаева и его учеников, прежде всего В.И. Вернадского. К концу XIX в. география становится *мобилизационной*, помогает стране в освоении пространств и природных ресурсов. Эти качества она сохраняла и в первой половине XX в., способствуя победе в Великой Отечественной войне и послевоенному восстановлению хозяйства. На фоне экономических задач, которые предстояло решать во второй половине XX в., география приобрела черты *конструктивной*, когда во главу угла были поставлены пространственное осмысление социально-экономического развития страны и формирование научных основ охраны окружающей среды и рационального природопользования [7, 8].

К концу XX — началу XXI в. академическая география меняет парадигму своего развития, особенно это касается связей с практикой. Учитывая революционный характер обновления методологии географии, широкое использование дистанционных, компьютерных и геоинформационных технологий, она становится *инновационной* и *цифровой*. Освоение ею интернет-пространства и информационных ресурсов, так или иначе ассоциированных с географией, а ещё постмодернистский эффект “всеобщей географизации населения” (возможности оперативного получения данных о странах, климате, природе и населении с помощью гаджетов) способствуют наделению академической географии XXI в. экспертной функцией верификации прогнозов изменения мира. Современная география объединяет почти 100 самостоятельных научных дисциплин, не только охватить, но даже перечислить их все в журнальной статье не представляется возможным.

Отметим два ключевых эпизода, сыгравших важнейшую роль в становлении отечественной географической науки: создание в 1739 г. в Академии наук Географического департамента под руководством академика М.В. Ломоносова и организация в 1915 г. академиком В.И. Вернадским Комиссии по естественным производительным силам (КЕПС), давшей начало развитию практически всем направлениям и академическим институтам в области наук о Земле.

Географический департамент Академии наук, вклад М.В. Ломоносова в развитие географии, первые академические экспедиции. В XVIII в. уже в рамках Петербургской академии наук шло активное становление русской географической школы [2, 3, 8]. Её основателем можно считать И.П. Кириллова, который возглавлял в России астрономические, топографические, картографические и статистические работы [9]. Он первым осознал важность картографии и экономической статистики. В 1731 г. был издан его труд “Цветущее состояние Российского государства”, законченный четырьмя годами ранее — первое русское статистическое, экономико- и политико-географическое описание страны. Много сил учёный отдал подготовке трёхтомного “Атласа Всероссийской Империи”, но успел опубликовать в 1734 г. лишь первый том, в который вошли “генеральная” карта всей страны и 14 карт отдельных регионов. В.Н. Татищев, определённый Петром I “к землемерию всего государства”, на западный манер делил географию на общую (“генеральную”), частную (описание разных стран) и топографию (описание отдельных территорий и городов). Он создал программу сбора материала по истории и географии России, однако сам успел составить только введение к её географическому описанию и “Общее географическое описание всей Сибири” (1736). “Российский атлас Кириллова” был издан в 1745 г. усилиями Академии наук.

Важной ступенью в становлении географической мысли стало приглашение в академию в 1725 г. молодого французского астронома и картографа Ж.Н. Делиля. Он организовал в 1726 г. первые в России систематические наблюдения за погодой и полярными сияниями, стоял у истоков службы времени, возглавлял астрономические работы, необходимые для картографирования территории. Он же предложил в 1728 г. равнопромежуточную коническую картографическую проекцию, удобную для вытянутой вдоль параллелей территории России, наметил план создания сети астрономических пунктов для построения точной карты страны. По инициативе Делиля в академии в 1739 г. был создан Географический департамент. В 1735 г. учёный перевёл на французский язык “Атлас Грузии” царевича Вахушти Багратиони, а в 1766 г. издал в Париже карту Грузии и Армении [10].

Большой интерес к географии проявлял М.В. Ломоносов, подчёркивая её важную роль в жизни российского общества. Этой наукой и её дисциплинами учёный занимался в академии с 1747 по 1765 г., в метеорологии, климатологии, гляциологии, экономической, исторической и полярной географии он по праву считается основоположником [8]. В 1758 г. Ломоносов был назначен директором Географического департамента академии. Главной задачей на этом поприще он считал подчинение всей работы ведомства государственным интересам, к которым относил и создание нового российского атласа [10]. Департамент выполнял по сути функции государственного управления, в том числе и касающиеся учёта природных ресурсов. В 1758 г. Ломоносов инициировал масштабную по своему охвату “академическую анкету” — географическое изучение России путём всеобщего анкетирования, организовал для этих целей работоспособный аппарат, предложил вопросы, методику обобщения материалов. В “академической анкете” можно увидеть истоки демографии, статистики, социальной и экономической географии¹.

Ещё одна область науки обязана своим становлением Ломоносову — полярная география, изучение северных морей и льдов. Все годы активной деятельности в академии Ломоносов обращался к исследованиям полярных областей и Северного морского пути, причём с точки зрения интересов развития морского дела и освоения Крайнего Севера. Наиболее известной его работой в этой области стали “Мысли о происхождении ледяных гор в северных морях” (1761), где он представил первое в мире исследование по гляциологии, предложив деление ледников на горные и покровные, характерные для арктических архипелагов [11], и “Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию” (1763) [8]. По данным о характере льдов, наличии на берегах пла́вника и другим признакам Ломоносов угадал особенности Северного морского пути. В работе 1763 г. он предсказал и существование материка у Южного полюса. Проекты исследования земель, разработанные учёным, в значительной мере были реализованы в ходе знаменитых академических экспедиций 1770-х годов [12].

Определяя М.В. Ломоносова как выдающегося отечественного географа, главным его дости-

жением в этой области следует назвать развитие картографии, составление “ландкарт”, “географических чертежей”, “географических планов” городов и “Российского атласа”. В этой связи нельзя не упомянуть о деятельности П.И. Рычкова, возглавлявшего Географический департамент Оренбургской комиссии, автора первого атласа Оренбургского края. В 1759 г. по представлению М.В. Ломоносова он первым из географов стал членом-корреспондентом Академии наук.

Ломоносов считал территорию страны главным национальным богатством, а географию как науку, её изучающую, важнейшей в академии. Подтверждением прозорливости учёного, размышлявшего о развитии территорий Сибири и Арктики, писавшего о необходимости “приумножения российского народа” как главной цели государства, стало то, что академия уже в первые десятилетия своего существования стала главным исполнителем экспедиционных работ в стране [10, 12–15].

Первая Камчатская экспедиция (1725–1729) под началом В.И. Беринга пыталась найти точку, “где Азия сошлась с Америкой”, но не достигла этой цели. В результате по предложению Беринга была организована Вторая Камчатская, или Великая Северная экспедиция (1733–1743), для изучения Севера России “от Печоры до Чукотки”. Работы от Печоры до Оби с 1734 г. вёл Двинско-Обский отряд под командованием С.В. Муравьёва и М.С. Павлова, от Оби до Енисея — Обско-Енисейский отряд Д.Л. Овцына. Участок побережья между Енисеем и Леной был закреплён за Ленско-Енисейским отрядом В.В. Прончищева, Х.П. Лаптева и С.И. Челюскина. Побережье к востоку от Лены исследовал Ленско-Колымский отряд П. Ласиниуса и Д.Я. Лаптева. На Дальнем Востоке действовали отряды В.И. Беринга и А.И. Чирикова. Они искали морской путь к Северной Америке, а Южный отряд М.П. Шпанберга составлял описание Курильских островов и пути в Японию. В рамках Великой Северной экспедиции работали два сухопутных отряда: Академический — Л. Делиля, И.Г. Гмелина и Г.Ф. Миллера и Верхнеудинско-Охотский — П.Н. Скобелева и В.Д. Шатилова. В состав Академического отряда входили члены-корреспонденты (адъюнкты) С.П. Крашенинников и Г.В. Стеллер, исследовавшие Камчатку. Результатом их работы стала книга 1755 г. “Описание земли Камчатки”.

Экспедиция академика П.С. Палласа (1771–1774) по изучению Сибири охватывала пространство от Уральских гор до Забайкалья. Её коллекции стали основой академической Кунсткамеры, многие и сегодня хранятся в музеях РАН.

С конца XVIII в. из-за нехватки средств академия снизила экспедиционную активность на Дальнем Востоке и в Сибири. На передний план

¹ В 1763 г. Ломоносов предложил составить “Экономический лексикон...”, в котором в алфавитном порядке перечислить все производившиеся в России товары с их описанием, указанием мест и объёмов производства, способов доставки до покупателя в тех случаях, когда продукт производится на продажу. К сожалению, при жизни учёного эта его идея не была реализована, но сам подход позднее использовался в экономической географии [13].

выходит Российско-американская компания, которая в 1803–1806 гг. спонсирует многие научные географические исследования, например, первое русское кругосветное плавание И.Ф. Крузенштерна и Ю.Ф. Лисянского, в ходе которого проводились исследования Камчатки и Сахалина. С начала XIX в. вектор научного интереса смещается в Европейскую Россию, которая время от времени становится театром войн, влекущих территориальные перемены. Они требуют географического осмысления, описания и картографического сопровождения. В 1800 г. Географический департамент Академии наук был закрыт [10, 16], а его функции переданы в Депо карт (1796–1812), которое, наряду с хранением карт, осуществляло топографическую съёмку в интересах армии и государства.

“Созидающая география” XIX века. К.И. Арсеньев, П.П. Семёнов-Тян-Шанский, В.В. Докучаев. Академия и географы-путешественники. Оформление академической географии как синтетической науки и её отдельных дисциплин в России XIX в. шло под влиянием идей единой географии А. Гумбольдта и К. Риттера и немецкой географической школы в целом. Физическая география воспринималась как “единство во множестве”, с обязательным использованием сравнительного метода. В её недрах формировалась наука — *Erdkunde* (землеведение), изучающая взаимоотношения человека с природой. На становление российской географии в XIX в. в немалой степени повлияли идеи П.П. Семёнова-Тян-Шанского, К.И. Арсеньева и В.В. Докучаева [17], которые существенно продвинули отечественную академическую географию и придали ей самобытные черты.

Созидающий характер отечественной географии XIX в. проявился в том, что усилия исследователей-географов способствовали хозяйственному и культурному сближению народов Российской империи, формированию единого геополитического пространства от Балтийского моря до Тихого океана, которое приросло территориями Финляндии, Польши, Кавказа и Закавказья, Черноморского побережья, Бессарабии, Приморья, Амурского края, Сахалина, Аляски, арктических архипелагов, ханств Средней Азии с 16.0 до 21.8 млн км² (1914). За сравнительно короткое время усилиями членов академии было сделано много географических открытий, а Санкт-Петербург превратился в мировой центр географических исследований [17, 18].

В 1803–1805 гг. проведено первое кругосветное плавание И.Ф. Крузенштерна и Ю.Ф. Лисянского. В нём участвовали академики В.Г. Тилеизус фон Тиленау и Г.И. Лангсдорф. Всего при участии академии в XIX в. организовано около 50 крупных морских экспедиций, в ходе одной из которых (под руководством Ф.Ф. Беллинсгаузена

и М.П. Лазарева, 1819–1821 гг.) открыта Антарктида [18]. Сухопутных экспедиций, особенно в Арктику, на Дальний Восток, в Северную Америку и Центральную Азию, организованных при участии академии было ещё больше. Изучалась и Южная Америка: в 1821–1828 гг. академик Г.И. Лангсдорф возглавил российскую экспедицию в Бразилию. Отметим также, что географ, участник кругосветных плаваний, исследователь Арктики, один из отцов-основателей Русского географического общества (РГО) академик Ф.П. Литке с 1864 по 1882 г. занимал пост президента Академии наук и много сделал для поддержки научных исследований в стране.

Результатами морских и сухопутных экспедиций становились не только научные и географические открытия. Для Азиатского, Ботанического, Египетского, Зоологического, Этнографического и других музеев, созданных в первой половине XIX в. на базе коллекций Кунсткамеры, экспонаты привозились со всего мира. Коллекции музеев пополнялись сборами, полученными в ходе экспедиций академиков К.М. Бэра на Новую Землю (1837) и в Лапландию (1840), И.Г. Вознесенского по Дальнему Востоку и русской Америке от Аляски до Калифорнии (1839–1849), А.Ф. Миддендорфа в Восточную Сибирь (1842–1845), Н.А. Северцова в Среднюю Азию (1857–1858).

Выдающийся географ Н.М. Пржевальский, избранный Почётным членом Академии наук и награждённый её медалью “Первому исследователю природы Центральной Азии”, совершил шесть экспедиций: Уссурийскую (1867–1869), Монгольскую (1870–1873), Лобнорскую и Джунгарскую (1876–1877), 1-ю и 2-ю Тибетские (1879–1880, 1883–1885). Несомненно, он был проницательным политико-географом, предвидевшим многие приграничные конфликты и векторы развития окраинных регионов России, государственных образований Центральной Азии, нюансы взаимоотношений с Китаем.

Главная физическая обсерватория курировала изучение климата России. Ею руководил академик В.Я. Струве, который провёл градусное измерение дуги меридиана на пространстве от побережья Ледовитого океана до дельты Дуная (“Дуга Струве”) и получил данные для определения размеров Земли.

Академик К.И. Арсеньев продолжил традиции экономической географии, заложенные М.В. Ломоносовым. Он возглавлял статистическое отделение Министерства внутренних дел России, входил в число учредителей Русского географического общества, был наставником будущего императора Александра II. Его вклад в становление экономической географии, создание российской системы статистики настолько велик, что идеями

учёного наша наука питалась вплоть до первой трети XX в. Им было предложено несколько сеток экономического районирования, отражавших уровень развития хозяйства, а его учебник “Краткая всеобщая география” десятилетия оставался основным по предмету и выдержал 20 изданий [17].

Одним из учредителей и первых руководителей отделения статистики Русского географического общества был академик П.И. Кёппен, крупный исследователь географии населения, автор первой “Этнографической карты России” (1851), исследователь Крыма.

Почётный член академии с 1873 г. П.П. Семёнов-Тян-Шанский счастливо соединял в своих исследованиях физическую и общественную географию. Первая представлена его экспедициями 1856–1857 гг. в западные районы Центральной Азии, а также созданием отечественной школы географов-путешественников в период, когда он руководил Русским географическим обществом (1873–1914). Речь идёт о его программах экспедиций Н.Н. Миклухо-Маклая, Н.М. Пржевальского, Г.Н. Потанина, А.П. Чекановского, И.Д. Черского, И.В. Мушкетова, П.А. Кропоткина. Вклад Семёнова-Тян-Шанского в становление отечественной общественной географии проявился в его деятельности на посту руководителя Центральной статистической комиссии Сената Российской империи в 1863–1885 гг., в подготовке 5-томного “Географическо-статистического словаря Российской империи” и 11-ти томов серии “Россия. Полное географическое описание нашего отечества”.

Выдающегося метеоролога и географа, одного из основателей географической климатологии, создателя сельскохозяйственной метеорологии профессора А.И. Воейкова не считают представителем академической науки. Однако результаты его путешествий по Европе, Северной и Южной Америке, многолетнее председательство в метеорологической комиссии Русского географического общества, научные труды свидетельствуют об обратном.

Профессор В.В. Докучаев также не был членом академии, однако без него развитие академической географии XIX в. не мыслится. Он — основоположник отечественного почвоведения и географии почв, выдающийся физико-географ, исследователь степей, основоположник учения о зональности. Среди его учеников и последователей — геологи, географы, геоботаники и почвоведы, в том числе и члены Академии наук В.И. Вернадский, Н.М. Сибирцев, Г.Н. Высоцкий, Г.Ф. Морозов, Г.И. Танфильев.

Академик В.И. Вернадский — самый выдающийся и преданный ученик В.В. Докучаева — на рубеже XIX–XX вв. заложил основы нескольких прорывных научных направлений географии.

Это не только учение о биосфере—ноосфере, возвращающее нас к единой географии, представление о пространстве—времени, учение о биогеохимических циклах и биологическом круговороте веществ — “кровотворных потоках”, соединяющих ландшафты и обеспечивающих “растекание жизни”. Вернадскому мы обязаны зачатками науки будущего, опирающейся в наши дни на геоинформационные и цифровые технологии, большие объёмы эмпирических данных, глобальные модели, “карбонцентрическое” представление о триггерах жизни Земли и её климата. Нынешние поколения географов должны по-новому осмыслить идеи учёного-энциклопедиста, 160-летие со дня рождения которого отмечается в 2023 г.

Необходимо упомянуть и о становлении некоторых географических дисциплин. Так, у истоков отечественной палеогеографии (эволюционной географии) стояли П.А. Кропоткин (знаменитый революционер-анархист и учёный-энциклопедист), ещё в 1874 г. сидя в тюрьме Петропавловской крепости написавший работу “О ледниковом периоде”, и геолог И.Д. Лукашевич, который в 1911–1915 гг. выдвинул гипотезу о связи оледенений с горообразовательными процессами. Отечественная биогеография в XIX в. развивалась под влиянием идей академиков Н.А. Северцова и его ученика академика М.А. Мензбира, выдающегося зоогеографа, ректора МГУ в 1917–1919 гг., а также ученика В.В. Докучаева профессора Н.А. Краснова, первого доктора наук в российской географии (1894).

Отечественная географическая климатология и гидрология формировалась трудами не только А.И. Воейкова, но и члена-корреспондента Академии наук, географа и картографа генерал-лейтенанта А.А. Тилло. Он исследовал верховья рек России (“Каталог высот русских рек”), составил атлас “Распределение атмосферного давления на пространстве Российской империи и Азиатского материка...”.

В становлении отечественной геоморфологии принимали участие выдающиеся географы. П.А. Кропоткин обосновал ледниковую теорию, создал первую схему орографии Восточной Сибири и выявил вулканический генезис рельефа. Картограф генерал-лейтенант Генерального штаба И.И. Ходзько инициировал Большую Кавказскую триангуляцию². Основатель “университетской географии” академик Д.Н. Анучин в 1895 г. опубликовал фундаментальную работу “Рельеф поверхности Европейской России в последовательном развитии о нём представлений”.

² Триангуляция — один из методов создания сети опорных геодезических пунктов, а также сама эта сеть. Заключается в геодезическом построении на местности системы пунктов, образующих треугольники, у которых измеряются все углы и длины некоторых базовых сторон.

Формировались также экологическое и природоохранное направления академической географии. Сам В.В. Докучаев уделял большое внимание проблемам плодородия почв, сохранению степей и чернозёмов, борьбе с эрозией. Его ученики Г.Н. Высоцкий, Г.Ф. Морозов, Г.И. Танфильев, В.Н. Сукачёв заложили основы территориальной охраны природы, а её лидером стал академик И.П. Бородин — инициатор охраны природы в России, директор Ботанического музея академии (с 1912 г.), основатель Постоянной природоохранительной комиссии Русского географического общества [19]. В работе этой комиссии участвовали многие представители академической географии, а в октябре 1917 г. В.П. Семёнов-Тян-Шанский представил Учёному совету РГО первый проект создания географической сети природных заповедников “О типичных местностях, в которых необходимо организовать заповедники по образцу американских национальных парков”.

Записка В.И. Ленина в Академию наук, план ГОЭЛРО, академические экспедиции 1920–1930-х годов. Первые годы после революции 1917 г. оказались для академической географии богатыми на события. В записке В.И. Ленина 1918 г. в Академию наук “Набросок плана научно-технических работ” [20] определялись цели Комиссии по изучению естественных производительных сил России: оптимальное размещение промышленности и самостоятельное снабжение страны всеми видами ресурсов. Ставились также задачи электрификации России (План ГОЭЛРО) и равномерного размещения производства. Потребности в географической информации, так необходимой растущему хозяйству, ни Императорское РГО, ни университеты не могли удовлетворить. Требовалась системная работа по географическому описанию страны, в том числе регионов нового освоения — Арктики, Сибири, Дальнего Востока, Кавказа и Средней Азии.

Созданный в 1921 г. Госплан сразу же совместно с Академией наук приступил к районированию и территориальной организации хозяйства страны. Шло формирование “районной школы” отечественной экономической географии Н.Н. Колосовского и Н.Н. Баранского [17].

Благодаря деятельности созданной академиком В.И. Вернадским в 1915 г. КЕПС (с 1930 г. — Совет по изучению производительных сил, СОПС), объединившей полевые работы по поиску природных ресурсов для молодой советской республики, академическая география становилась ресурсной и мобилизационной, ориентированной на решение текущих задач нового государства [21–23]. Огромные пространства России были мало изучены, а сведения о её ресурсах очень скудны. Так, к моменту создания Института гео-

графии в 1918 г., как отмечал академик И.П. Герасимов “...более или менее точные карты охватывали только одну пятую часть площади всей дореволюционной России...” [24, с. 25]. Необходимость ликвидации вопиющих пробелов стала стимулом бурного развития экспедиционной деятельности академии в 1920–1930 гг.

Ранний советский период географических исследований изучен достаточно полно [21, 25–27], его доминантой были экспедиционные работы. Их поддерживал неперемный секретарь Академии наук академик С.Ф. Ольденбург, академики А.Е. Ферсман и В.И. Вернадский. Признанием места географии в АН СССР стало избрание первых её действительных членов по этой специальности. В 1935 г. академиками стали Н.П. Горбунов — известный химик, управляющий делами Совнаркома РСФСР, а затем СССР (1920–1930), начальник Советско-германской (1928) и Таджикско-Памирской экспедиций АН СССР (1932–1935) и О.Ю. Шмидт — руководитель арктических экспедиций на ледокольных пароходах “Седов”, “Сибиряков” и “Челюскин”, в 1932–1938 гг. начальник Главного управления Северного морского пути. В 1928 г. членом-корреспондентом АН СССР был избран Л.С. Берг, в 1939 г. — Н.Н. Баранский, в том же году академиком стал директор Института географии А.А. Григорьев.

В 1929 г. А.Е. Ферсман подвёл итоги экспедиционной деятельности АН СССР за десятилетие после Октябрьской революции [26]. Географы участвовали в экспедициях КЕПС/СОПС: Северной (1921–1929), Северо-Уральской (1924–1928), Киргизской (1925), Якутской (1925–1930), Гыданской (1926–1928), Колымо-Индигоирской (1929–1930), Коми-Печорской (1930), Туркменской (1930), Кольской комплексной (1932–1935), Башкирской комплексной (1932–1933), Южно-Уральской (1933–1934), Дальневосточной комплексной (1933–1934), Камчатской комплексной (1934–1937) и др. Ещё один масштабный блок экспедиционных работ СОПС был выполнен с 1939 по 1950 г. Он был связан с угрозой надвигающейся войны, необходимостью поиска резервов зернового производства на юге Сибири и в Казахстане, развития промышленности на Урале и в Сибири. Их результаты стали основой для эвакуации промышленности в начале Великой Отечественной войны на Урал и в Сибирь, для освоения Целины, а в конце 1940-х — начале 1950-х годов — реализации Сталинского плана преобразования природы. Особо отметим исследования Комплексной Нижневолжской экспедиции СОПС в 1930-х годах. В ней участвовали многие выдающиеся географы, почвоведы и геоботаники академики Б.А. Келлер, Б.Б. Полынов, Л.И. Прасолов, И.П. Герасимов, В.А. Ковда. Результатами экспедиции стали принципиально новые представления о генезисе Прикаспийской низменности,

морских трансгрессиях Каспия, процессах почвообразования и засоления грунтов, динамике растительности на границе степей и пустынь.

В целом довоенный период деятельности географических учреждений АН СССР можно считать беспрецедентным: все крупные промышленные, энергетические и транспортные проекты сопровождались географическими изысканиями, ежегодно в разных уголках страны работали сотни экспедиций (203 только в 1933 г.!). Быстро шло стирание белых пятен на карте СССР, активно развивалась теория и методы академической географии. На этот период приходится пик деятельности Полярной комиссии АН СССР, её участия в изучении Северного морского пути. В составе Академии наук СССР работало Всесоюзное географическое общество. С 1931 по 1940 г. его возглавлял академик Н.И. Вавилов, с 1940 по 1952 г. — академик Л.С. Берг.

Экспедиционная деятельность академии в отдалённых регионах, помимо полевых результатов, стимулировала развитие научных центров, стала предвестником создания в 1940-х годах сети региональных географических учреждений. В 1927 г. в Харькове был создан Институт географии и картографии, в 1933 г. на базе факультета географии Тбилисского университета организован Институт географии им. Вахушти Багратиони, с 1933 г. в Белорусской ССР работал Институт торфа (ныне Институт природопользования НАН Беларуси), а с 1938 г. в Алма-Ате — Институт географии Казахской ССР.

Испытание войной. Российская академическая география в 1939–1945 гг. Роль академической географии в Великой Победе рассматривается во многих публикациях [28–35]. Годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. — важный этап истории академической географии XX в., раскрывший её потенциал в целях оперативного развёртывания исследований в военное время и качественного обеспечения географической информацией фронта и тыла. Как никогда прежде, в исследованиях и картографических работах доминировала комплексность, без промедления внедрялись новые методы (дешифрирование аэрофотоснимков, оперативная снеговая, ледовая, береговая и гидрографическая съёмки), для анализа и синтеза информации использовались новые источники, например, средне- и крупномасштабные карты. И физико-географы (будущие академики К.К. Марков и С.В. Калесник), и экономико-географы (член-корреспондент Н.Н. Баранский) вышли на крупные обобщения — подготовили пособия по военной географии [34].

Академическая география объединилась во круг Комиссии научной помощи Советской Армии при Отделении геолого-географических наук АН СССР, которую возглавлял академик

А.Е. Ферсман. Часть сотрудников Института географии под руководством академика А.А. Григорьева была эвакуирована в Алма-Ату. Оставшиеся в Москве специалисты трудились под началом профессора В.Ф. Васютина. Картографическим кабинетом института в годы войны заведовал выпускник Академии Генерального штаба, участник Первой мировой и Гражданской войн А.В. Стрельбицкий, накануне своего 70-летия в 1944 г. защитивший кандидатскую диссертацию по картографическому обеспечению армии. На базе института в 1941 г. была создана Межинститутская картографическая группа, работами которой руководил будущий академик И.П. Герасимов. Группу усилили сотрудниками других академических институтов. Практически все начинания, которыми были богаты исследования Института географии периода Великой Отечественной войны, нашли своё развитие в тематике исследований последующих десятилетий и составили славу отечественной географии. Так, работы по оценке пахотного и пастбищного фонда Казахстана, юга Урала и Сибири легли в основу региональных атласов и обоснования освоения Целины. Исследования по географии населения, транспорта и размещению производительных сил помогли возродиться находившимся перед войной в упадке некоторым отраслям экономической географии. Наконец, опыт среднемасштабного общегеографического и комплексного тематического картографирования, накопленный Межинститутской группой, был воспринят как военными, так и гражданскими службами, что позволило СССР выйти на передовые позиции в картографическом обеспечении хозяйства и обороны.

Под научным руководством АН СССР работало Всесоюзное географическое общество, которое в период блокады Ленинграда сыграло выдающуюся роль в обеспечении армии и тыла картами и военно-географической информацией, в том числе прогнозами ледовой обстановки на Ладожском озере с его Дорогой жизни [32, 36].

Маленькая группа специалистов Института географии смогла подготовить для нужд фронта и тыла материалы 250 названий, более 1300 карт. Группа Герасимова работала параллельно с Оборонной группой института, созданной в феврале 1942 г. приказом президиума АН СССР. Ею руководил В.Ф. Васютин, а задачи формулировались широко — военно-хозяйственное и военно-географическое описание территорий, специальное картографирование, описание зарубежных стран, военно-климатические работы и т.д. [35].

Советская академическая география второй половины XX в. XXIII Международный географический конгресс 1976 г. в Москве. На протяжении сравнительно длительного периода после Вели-

кой Отечественной войны академическая география в СССР сохраняла мобилизационный характер и активно участвовала в экономической жизни страны, сначала — в послевоенном восстановлении хозяйства, затем — в реализации Сталинского плана преобразования природы (рассчитанного на 1948—1965 гг., но завершившегося раньше) и в научной поддержке государственных планов освоения Целины (1954—1962), Сибири и Дальнего Востока. К этому следует добавить и развитие некоторых направлений экономической географии, обусловленное её востребованностью отраслями сельского хозяйства, промышленности, транспорта и сферы услуг.

Конец 1940-х — начало 1950-х годов в академической и вузовской географии ознаменовались идеологическими разборками. Ранее они коснулись биологов (сессия ВАСХНИЛ 1948 г.) и геологов (расширенная сессия учёного совета Института геологических наук АН СССР 1948 г., работа комиссии президиума АН СССР по оценке деятельности института и геологической науки в целом, 1949—1950 гг.). В географическом сообществе были развёрнуты дискуссии, направленные против академиков Л.С. Берга и А.А. Григорьева и ряда сотрудников Института географии, которым вменялись в вину “хорологическая концепция географии”, “лженаучная теория взаимодействующих факторов”, “лженаучные категории ландшафта и физико-географического процесса”. На одном из заседаний академик А.А. Григорьев “признал ошибки”, а парторг института В.С. Преображенский [37] и комсорг института В.А. Витязева [38] зафиксировали это. Директором института стал И.П. Герасимов.

“Дискуссия” шла и в научных журналах, выплескивалась на страницы центральных газет, что ещё больше её политизировало. В преддверии осуществления масштабных государственных инвестиционных планов преобразования природы решался вопрос, кто же будет обеспечивать их научно-географическое сопровождение — Академия наук СССР или Гидрометеорологическая служба СССР? Всё шло к тому, что Академия наук побеждает. Именно тогда появилась известная картина группы художников под руководством В.П. Ефанова, на которой изображены члены президиума АН СССР, слушающие доклад молодого И.П. Герасимова о перспективах Сталинского плана преобразования природы (оригинал картины хранится в Русском музее, а её копия украшала кабинет президента Академии наук).

Хрущёвская оттепель (1953—1964) и планы освоения Севера, Сибири и Дальнего Востока позитивно сказались на развитии академической географии, сняли с неё некоторые идеологические нагрузки, приоткрыли занавес между советской и западноевропейской, североамерикан-

ской географией. На русский язык активно переводились книги западных коллег. В 1955 г. географы АН СССР получили приглашение вступить в Международный географический союз, а в 1956 г. уже участвовали в работе XVIII Международного географического конгресса в Рио-де-Жанейро.

Начала формироваться региональная сеть учреждений академической географии. На базе Лаборатории озероведения АН СССР в Ленинграде был создан Институт озероведения. В разные годы его возглавляли академики Н.М. Страхов (1944—1945), Д.В. Наливкин (1945—1955), С.В. Калесник (1955—1977), член-корреспондент АН СССР О.А. Алекин (1977—1982), академики А.Ф. Трёшников (1982—1988), В.А. Румянцев (1988—2015). В 1946 г. в Петрозаводске был организован Отдел водных проблем Карело-Финской научно-исследовательской базы АН СССР, а на его базе в 1991 г. — Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, который внёс заметный вклад в изучение поверхностных вод Европейского Севера. Организатор и первый директор — член-корреспондент РАН Н.Н. Филатов (с 1991 по 2016 г.).

В период активного освоения Сибири в 1957 г. был создан Институт географии Сибири и Дальнего Востока (позднее Институт географии СО АН СССР). Его директором-организатором стал академик И.П. Герасимов (1957—1959), а первым директором — академик В.Б. Сочава (1959—1976). В разные годы институт возглавляли: академик В.В. Воробьёв (1976—2000), члены-корреспонденты РАН В.А. Снытко (2001—2005), А.Н. Антипов (2005—2009). В 1991 г. создан Байкальский институт природопользования СО РАН в Улан-Удэ (директор академик А.К. Тулохонов, 1991—2013, с 2013 г. — член-корреспондент РАН Е.Ж. Гармаев).

В 1968 г. на базе группы лабораторий, входивших в состав Дальневосточного филиала СО АН СССР, был создан Хабаровский комплексный научно-исследовательский институт (с 1988 г. — Институт водных и экологических проблем), основателем и первым директором которого был член-корреспондент АН СССР А.С. Хоментовский (1968—1970). В дальнейшем его возглавляли: академик Ю.А. Косыгин (1970—1971), члены-корреспонденты АН СССР П.Г. Бунич (1971—1973), М.К. Бабушкин (1973—1986), академик И.П. Дружинин (1987—1996), член-корреспондент РАН Б.А. Воронов (1996—2019). В 1971 г. постановлением президиума АН СССР был создан третий институт географического профиля к востоку от Урала — Тихоокеанский институт географии ДВО АН СССР. Его директором-организатором стал член-корреспондент АН СССР А.П. Капица (1971—1978). Затем институт возглавляли член-кор-

респондент АН СССР Г.И. Худяков (1979–1991), академик П.Я. Бакланов (1991–2016). В 1987 г. в Барнауле был организован Институт водных и экологических проблем СО АН СССР – первый академический институт на Алтае. Директором-организатором (до 1995 г.) был академик О.Ф. Васильев, сменил его на посту директора профессор Ю.П. Винокуров. В 1996 г. в Оренбурге появился Институт степи УрО РАН, организатором и директором которого до 2018 г. был академик А.А. Чибилёв.

В Институте географии АН СССР в рассматриваемый период существенно расширилась тематика, вырос и штат. Если в год переезда в Москву (1934) он составлял около 30 сотрудников, то в 1965 г. – уже 442, а 1970-х годах свыше 600. В 1935–1937 гг. при институте работал отдел теоретической геофизики во главе с академиком П.П. Лазаревым, в 1937 г. преобразованный в Институт теоретической геофизики АН СССР под руководством академика О.Ю. Шмидта.

Отметим ещё некоторые вехи. Советские географы участвовали в проведении 3-го Международного полярного года (1957–1958), Международного геофизического года (1957–1958) и Международного года геофизического сотрудничества (1958–1959). Подготовка к ним ознаменовалась созданием в Институте географии отдела гляциологии (1956). Его первым руководителем стал академик Г.А. Авсюк, а с 1968 по 2015 г. отдел возглавлял академик В.М. Котляков.

В 1960–1970-х годах публикуется 12-томная серия монографий о природе регионов СССР, затем – 15 томов серии “Природные условия и естественные ресурсы СССР” и 22 тома страноведческой серии “Советский Союз”. Выдающимся результатом работы советских географов стало издание в 1964 г. “Физико-географического атласа мира”.

В этот период сформировались теоретические основы физической (целостность и уровни пространственной дифференциации ландшафтов, представление о характерных временах динамики и эволюции, латеральных взаимодействиях, биогеохимических потоках и циклах) и общественной географии (опорный каркас расселения, теория миграций населения, закономерности урбанизации и территориальной организации производства, представление об экономико-географическом ресурсоведении как основе природопользования, концепция “воздействие–изменение–последствия” в оценке воздействия человека на окружающую среду). Всё это требовало формализации подходов и методов, что для академической географии XX в. в условиях накопления огромных массивов количественных данных подразумевало развитие математизации и моделирования. В 1962 г. при Московском отделении Всерос-

сийского географического общества действовал семинар по новым методам в экономической географии, лидерами которого были Ю.В. Медведков, В.М. Гохман, Ю.Г. Липец, М.М. Майергойз [39]. В физической географии основы математизации закладывались Д.Л. Армандом, А.Д. Армандом, Ю.Г. Пузаченко.

Академик И.П. Герасимов стоял у истоков конструктивной географии [40]. Он считал, что от конструктивных по сути исследований 1930–1950-х годов исследования 1970–1980-х годов отличается новая методология, взявшая на вооружение методы экономической и внеэкономической оценки, географический прогноз, территориальное проектирование, экспертизу и мониторинг.

Опасной с методологических позиций во второй половине XX в. стала идеологическая дискуссия о двух географиях – советской и буржуазной. Споры разворачивались и по поводу единства физического и экономического крыльев географии. В 1960-х годах развернулась дискуссия вокруг книги В.А. Анучина “Теоретические проблемы географии” и его выступлений в “Литературной газете”, а также вокруг статей С.В. Калесника и К.К. Маркова, в которых среди прочего присутствовал упрек, что теория единой географии слаба, роль экономической географии недооценивается, что директор ведущего академического института, по сути, “ведёт к ликвидации географии как таковой, сводя географию к отраслям её физико-географического цикла” [37, с. 68]. Академик И.П. Герасимов принял огонь на себя и даже ставил перед президиумом Академии наук вопрос об уходе с поста директора [41]. Тогда и обособились неформальные тематические группы междомственного характера из географов АН СССР, МГУ им. М.В. Ломоносова, других вузов и СОПСа, которые активно лоббировали создание Географической службы Союза ССР. Кроме Ю.Г. Саушкина [42] из МГУ своё слово в дискуссии сказали и географы АН СССР – В.М. Гохман, М.Б. Горнунг, А.А. Минц, Я.Г. Машбиц [27].

На 1976 г. приходится одно из важнейших событий в истории отечественной академической географии – проведение в Москве XXIII Международного географического конгресса, в котором приняли участие свыше шести тысяч советских и зарубежных учёных из 58 стран³. В преддверии пленарных и секционных заседаний конгресса состоялось 29 полевых симпозиумов комиссий и рабочих групп Международного географического союза (Москва, Ленинград, Киев, Одесса, Минск, Ташкент, Тбилиси), в которых участвовало около двух тысяч учёных. 27 июля 1976 г. в Кремлёвском дворце съездов состоялось откры-

³ Автор данной статьи два года работал в оргкомитете конгресса под руководством академика И.Н. Герасимова, профессоров Ю.В. Медведкова, А.М. Грина, А.П. Горкина и др.

тие конгресса и стартовала работа десяти секций: геоморфология и палеогеография; климатология, гидрология, гляциология, биогеография, общая экономическая география; география населения и др. С 3 по 10 августа было проведено 14 полевых экскурсий, а в это же время в Москве работала 8-я Международная картографическая конференция Международной картографической ассоциации. По свидетельству многих отечественных и зарубежных учёных, XXIII Международный географический конгресс остался непревзойдённым — и по научным результатам, и по уровню организации, и по общественному резонансу [43].

С 1986 по 2015 г. головное географическое учреждение Академии наук Институт географии РАН возглавлял академик В.М. Котляков, который, по сути, и заложил новую научную инфраструктуру академической географии с её инновационными направлениями (пространственное развитие страны, изменения климата, гляциология, эволюционная география, рациональное природопользование, ГИС-технологии).

Вторая половина XX в. во многом определила современные интеграционные тенденции в географических исследованиях — экологизацию, гуманизацию и социологизацию. Физическая география по-прежнему понималась как система наук о природных ландшафтах и компонентах географической оболочки, а социально-экономическая (общественная) география — как наука о территориальной организации экономической и социальной жизни. Но, во-первых, в процессе становления комплексных междисциплинарных исследований и создания крупных картографических произведений (национальные атласы Кубы, Вьетнама, Монголии, атлас “Природные среда и естественные ресурсы мира”) шёл процесс объединения физико- и экономико-географических сил. Во-вторых, многочисленные, проводившиеся с 1970-х годов исследования по проблемам “человек и окружающая среда”, “экологии человека”, географии рекреации и туризма, геоэкологии усилили этот процесс. В-третьих, родившаяся в недрах географической науки концепция устойчивого развития, на наш взгляд, создала мощную теоретическую платформу для интеграции географии. Наконец, в-четвёртых, в междисциплинарных исследованиях на границе между географией и другими науками география обычно выступает как единая наука.

Послевоенный период и вторая половина XX в. ознаменовались для академической географии многими успехами в развитии теории и в прикладной сфере, характеризовались востребованностью со стороны общества. Это отразилось и в беспрецедентном признании научных достижений: лауреатами Государственной премии СССР

и Российской Федерации стали около 30 академических географов [27].

Современные векторы развития академической географии в целом продолжают её предшествующий путь. В основе этих векторов:

- познание пространственной организации природы, хозяйства и населения;
- выявление новой феноменологии во взаимодействии географических сфер и компонентов географической среды при её разномасштабных изменениях;
- установление закономерностей пространственно-временной динамики компонентов географической среды — природной и антропогенной;
- определение трендов, векторов и механизмов эволюции природы, территориальных структур хозяйства и населения в условиях меняющегося климата и создание теоретических основ географического прогноза и рационального природопользования.

Выстраиваемые в столь логичную последовательность векторы академической географии определяют фундаментальную основу современной работы географов, для которой важны многолетние систематические, свободные от конъюнктуры исследования, гарантирующие получение полевых и экспериментальных пространственно ориентированных данных, собранных с помощью адекватных методик — геоинформационных систем, электронного картографирования, космического зондирования, изотопного и радиоуглеродного анализа, компьютерных программ для выявления социальных и экономических трендов регионального развития. Всё это организационно обеспечивается усилиями десятков профильных институтов Отделения наук о Земле РАН и географических факультетов вузов, где трудятся члены академии, а также долгосрочными научными программами, которые реализуются под научно-методическим руководством Академии наук.

На протяжении 300-летней истории отечественной академической географии шло формирование её научных школ, и сегодня мы можем говорить о тех из них, которые получили продолжение в XXI в. [44]. Это, в частности, докучаевская школа географии и почвоведения, объединившая учеников и последователей В.В. Докучаева; географо-(ландшафтно-)геохимическая школа В.И. Вернадского, формировавшаяся в академии на протяжении всего XX в., а благодаря академику Б.Б. Полынову — и в ведущих университетах страны; физико-географическая школа Д.Н. Анучина и Л.С. Берга, которую составляли многие известные академические и университетские географы; отечественная геоморфологическая школа, сформированная на традициях конца XIX в.

в рамках геологической науки, но в дальнейшем получившая развитие благодаря “ленинградской ветви” школы профессора Я.С. Эдельштейна и “московской ветви” профессоров А.А. Борзова и И.С. Шукина; российская школа географо-гидрологических исследований суши, которая развивалась в системе Академии наук, а после передачи Государственного гидрологического института и других учреждений, занимающихся климатом и гидрологией, Гидрометеорологической службе СССР развивалась в учреждениях последней; отраслево-статистическая экономика-географическая школа, созданная ещё в 1920-х годах в Ленинграде В.Э. Деном, организатором первой кафедры экономической географии в Петербургском политехническом институте; экономика-географическая (районная) научная школа С.В. Бернштейн-Когана, Н.Н. Баранского и Н.Н. Колосовского, которая включает два крыла — московское и ленинградское.

В последние 15 лет, с переходом на грантовую систему поддержки науки и на краткосрочное планирование (программы Минобрнауки России, гранты РФФИ и РНФ) преемственность географических исследований ослабевает.

Выделим несколько актуальных, с нашей точки зрения, направлений академической географии России XXI в.

1. Формирование методологических основ сбора, накопления и пользования унифицированными банками пространственно-распределённых данных и академических геопорталов, позволяющих обеспечить доступ к метаданным географической информации.

2. Развитие методов высокого разрешения для фундаментальных исследований в области эволюции географической среды и её компонентов, палеоклиматических и палеоэкологических реконструкций.

3. Создание политико-географических, социально-географических и экономика-географических основ районирования страны, регионального развития и территориальной организации хозяйства и населения, учитывающих новую феноменологию географии постиндустриального общества и глобализации мирового хозяйства в условиях постоянной дестабилизации развития. В этот вектор укладывается решение политико-географических проблем развития России, игнорирование которых приводило к катастрофическим последствиям, ставящим на грань существования само государство.

4. Усиление географического анализа и синтеза новой географической феноменологии староосвоенных регионов. Продолжение географических исследований природных ландшафтов, особенно Великого Евразийского природного массива (около 13 млн км²). Роль его тундр, болот,

тайги и степей как экологических доноров планеты ещё предстоит осмыслить, детализировать и положить в основу международного сотрудничества.

Академическая география XXI в. (сведения о её достижениях в последние два десятилетия содержатся в публикациях, приуроченных к юбилеям географических учреждений РАН [27, 45–50]) стремится к тому, чтобы совместно с коллегами, представляющими университетскую и отраслевую науку, эффективно отвечать на острейшие современные вызовы, опираясь на новейшие методы исследований создавать основы будущего рационального пространственного развития России [51].

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках государственного задания Института географии РАН № FMGE-2019-0007.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лебедев Д.М.* География в России XVII века (допетровской эпохи). М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949.
2. *Лебедев Д.М.* Очерки по истории географии в России XVIII в. (1725–1800 гг.). М. Изд-во АН СССР, 1957.
3. *Александровская О.А.* Становление географической науки в России в XVIII веке. М.: Наука, 1989.
4. *Александровская О.А.* Русская географическая традиция. Дисс. в виде науч. докл. на соискание учёной степени докт. геогр. наук. М.: ИИЕиТ РАН, 2003.
5. *Рыбаков Б.А.* Русские карты Московии. М.: Наука, 1974.
6. *Гольденберг Л.А.* Семён Ульянович Ремезов: Сибирский картограф и географ. 1642 — после 1720 г. М.: Наука, 1965.
7. *Котляков В.М., Тишков А.А.* Векторы прошлого и современного развития академической географии // Вестник РАН. 2008. № 9. С. 810–819; *Kotlyakov V.M., Tishkov A.A.* Vectors of Previous and Present-Day Development of Academic Geography. 2008. № 5. P. 485–494.
8. *Котляков В.М., Тишков А.А.* У истоков отечественной академической географии // Вестник РАН. 2011. № 10. С. 925–931.
9. *Берг Л.С.* Очерк истории русской географической науки (вплоть до 1923 года). Л.: Изд-во АН СССР, 1929.
10. *Гнучева В.Ф.* Географический департамент Академии наук XVIII в. Л.—М.: Изд-во АН СССР, 1946.
11. *Котляков В.М.* Гляциологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
12. *Александровская О.А., Широкова В.А., Романова О.С.* М.В. Ломоносов и экспедиционная деятельность в России в XVIII веке // История наук о Земле. 2012. № 2. С. 5–10.
13. *Никитин Н.П.* Зарождение экономической географии в России // Вопросы географии. 1950. № 17. С. 43–104.

14. Труды Архива Академии наук. Материалы для истории экспедиций Академии наук в XVIII и XIX веках: хронологические обзоры и описание архивных материалов / Под ред. акад. В.Л. Комарова. М.—Л., 1940. Т. VIII.
15. Греков В.И. Очерки из истории русских географических исследований в 1725–1765 гг. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
16. Гольденберг Л.А. Географический департамент Академии наук и создание первого академического атласа (1739–1799 гг.) // Очерки истории географической науки в СССР. М.: Наука, 1976. С. 55–60.
17. Голубчик М.М., Евдокимов С.П., Максимов Г.Н. История географии. Учебное пособие. Смоленск: Изд-во Смоленского гос. ун-та, 1998.
18. Берг Л.С. История русских географических открытий. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
19. Чибилёв А.А., Тишков А.А. История заповедной системы России. М.: Русское географическое общество, Постоянная природоохранительная комиссия, 2018.
20. Ленин В.И. Набросок плана научно-технических работ / ПСС, изд. 5-е. 1974. Т. 36. С. 228–231.
21. Юсупова Т.И. Организация экспедиционной деятельности в Академии наук: 1921–1930 гг. // Вопросы истории естествознания и техники. 2012. № 4. С. 91–107.
22. Котляков В.М., Тишков А.А., Соломина О.Н. 100-летие Института географии РАН на фоне мировых и российских тенденций географической науки // Вестник РАН. 2018. № 11. С. 1018–1029; Kotlyakov V.M., Solomina O.N., Tishkov A.A. The 100th Anniversary of the Institute of Geography, Russian Academy of Sciences in the Background of the World and Russian Tendencies in Geography // Herald of the RAS. 2018. № 6. P. 509–520.
23. Тишков А.А., Костовская С.К., Добрянский А.С. Экспедиции Института географии РАН в XX–XXI веках (к 100-летию института) // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 183–192.
24. Герасимов И.П. Современное состояние научных работ по изучению природных ресурсов СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1957. № 5. С. 25–28.
25. Деятельность Академии наук СССР. 1917–1972. Указ. литературы. М.: Наука, 1974.
26. Ферсман А.Е. Экспедиционная деятельность Академии наук СССР и её задачи. Л.: Изд-во АН СССР, 1929 (Материалы комплексных экспедиционных исследований АН СССР. Вып. 19).
27. Век географии / Под ред. В.М. Котлякова, О.Н. Соломиной, А.А. Тишкова, В.А. Колосова. М.: Дрофа, 2018.
28. Григорьев А.А. Институт географии АН СССР в дни Отечественной войны // Вестник АН СССР. 1947. № 7–8.
29. Абрамов Л.С. Советская география в Великой Отечественной войне // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1985. № 2. С. 5–17.
30. Ферсман А.Е. География на службе войны // Вопросы географии. Сб. 128. 1985. С. 25–30.
31. Котляков В.М., Преображенский В.С. Академическая география — Вооружённым Силам (1941–1944 годы) // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 2. С. 9–21.
32. Географическое общество в годы войны: сборник статей и материалов. М.: Рус. геогр. об-во, 2015.
33. Ланно Г.М., Агирречу А.А. Географы и Русское географическое общество в годы Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 3. С. 8–18.
34. Тишков А.А. География и Великая Победа: сюжет из военной жизни “спокойной” академической географии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 2. С. 7–15.
35. Тишков А.А. Вклад академической географии в Великую Победу // Ноосфера. 2021. № 1. С. 3–14.
36. Ярукова Л.И. Русское географическое общество в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. // География и экология в школе XXI в. 2005. № 4. С. 17–22.
37. Преображенский В.С., Александрова Т.Д. Материалы к истории отечественной географии XX века. М.: Институт географии РАН, 1994.
38. Витязева В.А. Об основных вопросах географической науки // Вестник АН СССР. 1951. № 6. С. 95–98.
39. Гохман В.М., Гуревич Б.Л., Саушкин Ю.Г. Проблемы метагеографии // Вопросы географии. Сб. 77. Математика в экономической географии. М.: Мысль, 1968. С. 3–14.
40. Герасимов И.П. Советская конструктивная география: Задачи, подходы, результаты. М.: Наука, 1976.
41. Глазовский Н.Ф., Тишков А.А. Лидер отечественной географии / Многоликая география. К 100-летию акад. И.П. Герасимова. М.: Изд-во КМК, 2005. С. 5–13.
42. Саушкин Ю.Г. Экономическая география: история, теория, методы, практика. М.: Мысль, 1973.
43. Горкин А.П. О XXIII Международном географическом конгрессе в Москве // География. 2006. № 22. С. 1.
44. Научные школы в географии / Ред. Л.С. Абрамов, А.А. Есаков. М.: Моск. отд. Географического об-ва СССР, 1983.
45. Географические исследования на Дальнем Востоке. Итоги и перспективы. 2012–2016 гг. Сб. науч. статей. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2018.
46. География Сибири в начале XXI века: в 6 тт. / Гл. ред. В.М. Плюсин. Т. 1. Новосибирск: Гео, 2014.
47. Тихоокеанская Россия: страницы прошлого, настоящего, будущего / Отв. ред. П.Я. Бакланов. Владивосток: Дальнаука, 2012.
48. Социально-экономическая география в России / Под общей ред. П.Я. Бакланова и В.Е. Шувалова. Русское географическое общество. Владивосток: Дальнаука, 2016.
49. Пространственное развитие степных и постстепных регионов Европейской России. Т. I / Под ред. А.А. Чибилёва. Оренбург: ИС УрО РАН, 2018.
50. Сборник статей, посвящённый 35-летию Института водных и экологических проблем СО РАН. Барнаул: ООО “Пять плюс”, 2022.
51. Тишков А.А. География — наука будущего // Вестник РАН. 2022. № 6. С. 500–508; Tishkov A.A. Geography Is the Science of the Future // Herald of the RAS. 2022. № 3. P. 277–284.

ПОИСК СОЦИАЛЬНОГО ОПТИМУМА: ПОГОНЯ ЗА ПРИЗРАКОМ?

© 2023 г. А. Д. Некипелов^{а,*}

^аМосковская школа экономики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: nekipelovaleksandr@rambler.ru

Поступила в редакцию 20.03.2023 г.

После доработки 25.03.2023 г.

Принята к публикации 10.04.2023 г.

В статье реализован новый методологический подход к выявлению природы группового оптимума. Его составными элементами являются: отказ от унифицированного восприятия проблемы применительно ко всем видам групп, а также её отдельное рассмотрение в условиях определённости и неопределённости. Социальный оптимум рассматривается как состояние согласованности интересов членов социума, а выявление его природы осуществляется в рамках анализа “простой интегральной группы” в условиях определённости. Обосновывается необходимость “институциональной прокладки” — согласованного принципа социального выбора — между индивидуальными предпочтениями и социальным оптимумом. Ограниченные возможности получения и обработки информации, характерные для условий неопределённости, порождают потребность в формировании механизма социального выбора, призванного обеспечить возможность максимального приближения к сконструированному таким образом общественному оптимуму. Показано, что важнейшим следствием существования системных издержек, связанных с действием любых таких механизмов, становится появление малых групп и превращение простой интегральной группы в сложную. Определены особенности трёх важнейших видов малых групп — органов управления “большой группы”, предприятий (фирм) и домашних хозяйств, играющих важнейшую роль в функционировании экономической системы. Отсутствию однозначного определения точки социального оптимума и идеальных механизмов его достижения противостоит осознание членами общества несомненных выгод от сотрудничества друг с другом. Благодаря этому социальные конструкции оказываются относительно устойчивыми. Вместе с тем они обладают очевидными особенностями по сравнению с природными объектами, что не может не сказываться на характере общественных наук.

Ключевые слова: социальный (групповой) оптимум, групповые предпочтения, функции индивидуальной и общественной полезности, групповые интересы, согласование интересов, правило группового (социального) выбора, трансакционные издержки, издержки управления, органы управления, фирмы, домашние хозяйства.

DOI: 10.31857/S0869587323050080, EDN: VWVSWU

Современное общество (а в данном случае оно интересует нас прежде всего с экономической точки зрения) — чрезвычайно сложная институ-



НЕКИПЕЛОВ Александр Дмитриевич — академик РАН, директор МШЭ МГУ им. М.В. Ломоносова.

циональная конструкция. Его субъектами являются как отдельные люди, так и их разнообразные группы. Состояние и динамика общественной экономики определяются действиями подобных агентов. Но если в отношении механизма индивидуального выбора в современной экономической теории достигнута высокая степень согласия, то с пониманием природы группового выбора дело обстоит иначе.

На абстрактно-теоретическом уровне здесь уже в течение длительного времени экономисты пребывают в явном тупике. Камнем преткновения стал вопрос о наличии у группы собственной системы предпочтений. Безуспешность многочисленных попыток его решения способами, не противоречащими признанным аксиомам (в

первую очередь аксиоме о недопустимости межличностных сравнений уровней благосостояния), создаёт крайне неприятные проблемы для экономической теории. С учётом того, что спрос на потребительские товары предъявляется не только (и не столько) отдельными лицами, но и такими групповыми субъектами, как домашние хозяйства, серьёзная лакуна образуется в понимании основ действия рыночного механизма¹. Похожие проблемы возникают в теории фирмы в том случае, если мы допускаем, что у используемого ею капитала имеется не один, а несколько собственников².

Теоретическая непрояснённость проблемы группового выбора в сочетании с её практической значимостью приводит к тому, что нередко исследователям приходится действовать по принципу “Если нельзя, но очень хочется, то можно!”. Так происходит в макроэкономической теории, когда в моделях экономического роста используется функция полезности домашнего хозяйства (см., например, модель Рамсея—Касса—Купманса), а также в работах более практической направленности, посвящённых моделированию конкретных социальных (в том числе экономических) систем (в частности, при использовании агент-ориентированных моделей).

В настоящей статье предпринята попытка несколько по-новому взглянуть на ситуацию, сложившуюся в сфере теоретических исследований проблемы социального выбора. Свою задачу автор видит не в том, чтобы предложить чудесное решение проблемы, над которой в течение десятилетий работали многие выдающиеся учёные. Предметом рассмотрения, причём на максимально абстрактном уровне, будет следующий вопрос: обладает ли в принципе “точными координатами” социальный оптимум, на поиск которого традиционно нацелена теория социального выбора и ссылки на который активно используются при обосновании экономических стратегий? Иными словами, не является ли он своеобразным призраком, способным менять своё обличье под влиянием тех или иных общественных условий?

¹ “Классическая теория спроса является двусмысленной при характеристике отношения [leaves ambiguous the relation] между картой кривых безразличия домашнего хозяйства и картами входящих в его состав индивидуальных членов... Переход от индивидуальных карт к карте домашнего хозяйства представляет особый случай перехода от индивидуального к общественному ранжированию” [1, p. 9].

² Именно этим вопросом задался К. Эрроу, по его словам, ещё в 1946 г., когда он вынашивал планы усовершенствования подходов Дж. Хикса к теории фирмы: “Что, если у неё [фирмы] будет много собственников вместо единственного собственника, как постулировал Хикс? Конечно, можно полагать, что все они будут стремиться к максимизации прибыли; но представьте себе, что у них разные ожидания в отношении будущего?” [2, p. 2].

А если это так, то какие выводы следуют из этого для экономической теории и практики?

О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ТЕОРИИ ГРУППОВОГО ВЫБОРА

Исследователи интересующей нас проблемы традиционно пытались адаптировать к ней алгоритм индивидуального выбора, предложенный В. Парето на базе разработанной им ординалистской теории полезности [3]. В первую очередь с этим связано настойчивое стремление обосновать наличие у групп, в том числе общества, собственной системы предпочтений. Ведь в таком случае социальный оптимум может быть представлен в виде точки касания одной из поверхностей безразличия и поверхности, выражающей производственные ограничения, с которыми приходится иметь дело соответствующей группе.

Сложность, с которой столкнулись учёные, состояла в том, что члены любой группы обладают собственными, индивидуальными системами предпочтений, а потому возникает вопрос, нужно ли принимать их во внимание при введении в анализ групповых предпочтений?

Так называемый холистский (от английского whole, целостный) подход, уходящий корнями к Платону [1, p. 22, 24, 29], сводился к тому, что групповые предпочтения не зависят от предпочтений индивидуальных. Подобный подход, разумеется, позволял снять упомянутую выше проблему, однако не получил признания большинства исследователей. В самом деле, для многих из них представляется по меньшей мере странным использовать при построении теории в качестве аксиомы утверждение, что взгляды членов группы не имеют прямого отношения к её интересам³. Это соображение многократно усиливается опасением, что принятое наукой такого рода положение может использоваться для активной манипуляции обществом в политической жизни.

Видимо, в силу этих причин большинство исследователей исходят из того, что групповые предпочтения следует рассматривать как производные от предпочтений её членов⁴. Предполагается также, что выполняются условия в отноше-

³ Среди российских учёных, придерживающихся точки зрения, что интересы группы не сводятся к интересам её членов, упомяну Р.С. Гринберга и А.Я. Рубинштейна: “...мажорантой провалов рынка является несводимый к индивидуальным предпочтениям социальный интерес” [4, с. 11]; “...если любые нужды общества могут быть сведены к нуждам его членов, тогда на рынке не останется места для социализированных субъектов, поскольку, в соответствии с данной аксиомой, их интересы полностью растворены в личных предпочтениях” [5, p. 12].

⁴ Характерна в этом отношении позиция Дж. Бьюкенена: “Коллективные исходы проистекают из максимизирующего поведения многих людей, выступающих во многих различных качествах” [6, p. 4].

нии системы групповых предпочтений, позволяющие представлять их в виде функционала социального благосостояния, сформулированного А. Бергсоном [7]:

$$V^*(x) = V(U(x)), \quad (1)$$

где x — вектор, характеризующий возможные состояния группы, $V^*(x)$ — функционал группового благосостояния, $U(x) = (U_1(x), \dots, U_n(x))$ — векторная функция, компонентами которой являются индивидуальные функции группового благосостояния. При этом функция V — строго возрастающая на области значений $U(x)$.

Функционал (1), разумеется, хорошо иллюстрирует идею производности группового благосостояния от благосостояния членов группы. Однако открытым остаётся вопрос: имеет ли выражаемая им зависимость универсальный характер, или она может по-разному проявляться в разных условиях?

При первом варианте ответа аналогия между индивидуальным выбором по Парето и групповым выбором становится почти абсолютной. Фактически, социальный организм — группа — при таком подходе мало чем отличался бы от организма биологического — отдельного человека. Соответственно, оптимальный общественный выбор получил бы в этом случае чёткое определение: он стал бы результатом максимизации *однозначно* заданной функции общественной полезности при имеющихся ресурсных ограничениях.

Но любая группа — искусственная конструкция; она создаётся людьми, исходя из их собственных устремлений. Поэтому второй возможный подход к проблеме *производности* групповых предпочтений состоит в попытке обоснования того, что между ними и предпочтениями членов группы лежит своего рода институциональная прокладка в виде правил принятия совместных решений, на которые опираются члены группы.

Следует сразу же обратить внимание на тот факт, что у оптимального общественного выбора при такой трактовке связи между индивидуальными и групповыми предпочтениями теряется свойство *однозначной* определённости. В самом деле, приходится допускать, что различные правила принятия групповых решений при одной и той же конфигурации индивидуальных предпочтений будут приводить к разным результатам. Кроме того, возникает давно замеченная учёными (см., в частности, [1, р. 90]) проблема “циклическости”, поскольку оказывается, что принятие членами группы совместного решения попадает в зависимость от их решения о том, как они будут принимать решение.

Тем не менее большинство исследователей проблемы группового выбора пошли именно по этому пути. По всей видимости здесь сказались

два обстоятельства. С одной стороны, повседневная практика свидетельствует, что упомянутая “циклическость” отражает не тавтологичность научных рассуждений, а реальное свойство процесса коллективного выбора. Действительно, учреждение многих групп начинается с утверждения уставных документов, в которых определяются как задачи, которые ставит перед собой группа, так и правила, которыми ей следует руководствоваться при принятии решений. С другой стороны, теоретически нельзя исключать того, что для перехода от индивидуальных предпочтений к групповым пригодным будет лишь одно правило социального выбора. А в этом случае однозначно определённым оказалось бы и состояние социального оптимума. Ну, а если, всё же, таких алгоритмов принятия групповых решений оказалось больше одного, то, по крайней мере, имела бы возможность чётко определять оптимальные решения группы в рамках действующих институтов. Более того, А. Сен предложил в таком случае ввести дополнительные (“дискриминирующие”) аксиомы в отношении правил социального выбора до тех пор, пока не останется одна-единственная процедура, соответствующая всем введённым ограничениям [8, с. 248].

Знаменитая теорема о возможности К. Эрроу стала громом среди ясного неба для теоретиков группового выбора. Американский учёный исходил из того, что в условиях капиталистической демократии используются два механизма такого выбора — голосование и рынок [1, р. 1]. При этом он полагал ненужным проводить различие между этими двумя способами, рассматривая их как “особые случаи более общей категории коллективного социального выбора” [1, р. 5]. Как известно, главный вывод теоремы состоит в том, что три естественных требования к системе групповых предпочтений (составные части “конституции социального выбора”)⁵ могут соблюдаться только в случае, когда в группе имеется “диктатор”, то есть человек, индивидуальные предпочтения которого о возможных состояниях группы распространяются на группу в целом. Не удивительно, что этот вывод оказал огромное влияние на последующие исследования проблематики общественного выбора.

Часть учёных занялась поиском возможностей ослабить свойства правил социального выбора, от которых отталкивался К. Эрроу. Особое внимание при этом привлекли первое и третье из них — соответственно, применимости искомого прави-

⁵ Речь идёт о следующих свойствах: (1) универсальная область определения (при любой конфигурации индивидуальных предпочтений правило социального выбора должно обеспечивать получение групповой системы предпочтений, соответствующей необходимым требованиям); (2) Парето-эффективность и (3) независимость от посторонних альтернатив.

ла социального выбора для любой конфигурации индивидуальных предпочтений членов группы и “независимости от посторонних альтернатив” результатов, получаемых на основе его использования.

Отказ от требования универсальной области определения (составная часть первого свойства), позволяя подвести какую-никакую теоретическую базу под исследование процесса выбора в отдельно взятой группе с заданными предпочтениями её членов, очевидным образом существенно сужает общность получаемых результатов. Принцип же “независимости от посторонних альтернатив” был введён К. Эрроу для того, чтобы избежать построения групповых предпочтений с нарушением аксиомы о недопустимости межличностных сопоставлений уровней индивидуальных полезностей, лежащей в основе ординалистской теории⁶. Ради возможности продолжать опираться на концепцию групповых предпочтений многие исследователи сочли целесообразным пойти на полный или частичный отказ от этой аксиомы. Одни из них [9] использовали кардиналистские свойства функции полезности фон Неймана–Моргенштерна в сочетании с правилами социального выбора Нэша [10], другие – опирались в значительной степени на соображения прагматического характера [8, с. 253; 11, с. 248–254].

Допущение возможности в той или иной форме прибегать к межличностным сравнениям уровней благосостояния в лучшем случае представляет собой решение типа “второго наилучшего выбора” (“second best”). Оно, конечно, легализует применение групповых функций полезности в макроэкономике и конкретных экономических исследованиях, но одновременно подрывает методологическую однородность самой экономической теории.

Нельзя не упомянуть также проблему, которую игнорирует подавляющее большинство сторонников рассматриваемого подхода. Считая тривиальной задачу максимизации коллективной полезности при имеющихся у группы ресурсах, они не уточняют, какие ресурсы имеются в виду.

⁶ Таким образом К. Эрроу обеспечивал соблюдение этой аксиомы ординалистской теории, поскольку сознательно оперировал в своём исследовании не функциями полезности, а отношениями предпочтения. Он отмечал: “Я в значительной степени трансформирую формулировку проблемы профессором Бергсоном о ценностном выборе с учётом принятой здесь [речь идёт о данной работе автора] терминологии... Как и при любом типе поведения, определяемого стремлением к максимизации, мы не будем исходить из измеримости общественного благосостояния; всё, что имеет значение, так это наличие социального ранжирования, удовлетворяющего Аксиомам I и II [о полноте и транзитивности социальных предпочтений. – А.Н.]. Как и прежде, всё, что нужно для определения такого порядка – это знание результатов сравнения в каждой паре альтернатив” [1, р. 22].

Подразумеваются ли все блага или только та их часть, которая передана отдельными членами группы в общее распоряжение? Очевидно, что в первом случае речь фактически идёт о групповой собственности на все ресурсы, и тогда нуждается в прояснении вопрос о том, имеют ли полученные выводы отношение к рыночной экономике, основанной на частной собственности⁷. Во втором случае мы вновь сталкиваемся с уже упоминавшейся проблемой “циклическости”, только теперь она проявляется в необходимости принятия членами группы специального решения о порядке предоставления принадлежащих им благ в общее пользование.

Проблемы, которые никак не удаётся преодолеть сторонникам наличия групповых предпочтений, заставляют некоторых учёных принципиально отказаться от этого подхода. При этом некоторые из них прямо ссылаются на теорему о возможности К. Эрроу [13, р. 573–577], и считают нужным говорить о согласовании интересов членов группы, а не о формировании её самостоятельного интереса [14, с. 90]. Однако способ такого согласования, как правило, специально не анализируется; возможно он попросту отождествляется с действием рыночного механизма.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ГРУППОВОГО ВЫБОРА

Прежде всего следует обратить внимание на стремление исследователей предложить унифицированный подход к механизму принятия решений для всех видов групп. Между тем таких видов немало, и различия между некоторыми из них вряд ли можно заведомо отбросить как малозначимые. Поэтому начать имеет смысл с классификации имеющихся групп; при этом нас, естественно, будут в первую очередь интересовать группы, играющие важную роль в экономике. В основу классификации имеет смысл положить следующие три признака.

Признак первый: *состав группы*. С этой точки зрения группы можно разделить на те, членами которых являются одни только индивидуумы, и те, членами которых являются также и группы. Первый тип имеет смысл называть *простой группой*, а второй – *сложной группой*. Соответственно, в сложной группе можно выделить большую и малые группы. С этих позиций примером простой группы будет являться модель простого менового хозяйства, субъектами которого являются инди-

⁷ Ф. Хайек обратил на это внимание, правда, в несколько ином контексте: “Государство всеобщего благосостояния становится государством домашнего хозяйства, в котором патерналистская власть контролирует большую часть доходов общества и распределяет их между людьми в тех формах и количествах, в которых, по её мнению, они нуждаются или заслуживают” [12].

видуальные производители (они же потребители). В качестве сложной группы можно рассматривать современную рыночную экономику, в которой наряду с отдельными людьми взаимодействуют такие групповые участники хозяйственной деятельности, как домашние хозяйства, фирмы и др.

Признак второй: *роль группы в удовлетворении потребностей её членов*. Здесь основой классификации становится ответ на вопрос о том, входит ли в круг интересов группы удовлетворение всех потребностей её членов или только части из них. В зависимости от ответа проводим различие между *интегральными* и *фрагментарными* группами. Примерами интегральных групп могут являться домашние хозяйства, общая экономическая система; примерами фрагментарных групп — фирмы, разнообразные группы по интересам.

Признак третий: *роль внешних по отношению к группе связей в удовлетворении тех потребностей её членов, ради которых и создана группа*. Группы, которые не используют связи с внешним миром для удовлетворения потребностей своих членов, отнесём к *закрытым группам*, а те, которые используют их для блага своих членов, — к *открытым*.

Нетрудно убедиться в том, что интегральные группы могут быть и закрытыми, и открытыми (пример — открытые и закрытые национальные экономики; патриархальные или действующие в рыночной среде домашние хозяйства). Что касается фрагментарных групп, то они будут в основном относиться к разряду открытых, хотя теоретически среди них могут быть и закрытые (например, в случае групп по интересам, когда соответствующие потребности членов группы удовлетворяются исключительно в её рамках).

Наряду с дифференцированным рассмотрением проблемы социального выбора по отношению к разным типам групп важно, на наш взгляд, чётко разделить рассмотрение этого вопроса применительно к условиям полной и неполной определённости. С учётом этого неизбежно произойдёт разделение двух вопросов — существования (и, соответственно, параметров) социального оптимума, с одной стороны, и способов его достижения (приближения к нему) — с другой.

Замысел состоит в том, чтобы начать поиск социального оптимума для *простой интегральной закрытой группы* в условиях полной определённости. Далее будет предпринята попытка показать, что возникновение сложных групп может рассматриваться как естественный результат ситуации неполной определённости. На этом этапе попытаемся проследить, что будет представлять из себя состояние группового оптимума на уровне большой и малых групп и какие механизмы могут обеспечивать максимальное приближение к соответствующим идеальным состояниям.

По причинам, понятным из предшествующего изложения, вопрос социального оптимума будет рассматриваться под углом зрения согласованности интересов членов группы. При этом под согласованностью интересов мы будем понимать такое состояние группы, при котором одновременно обеспечивается максимизация индивидуальных функций полезности всех её членов. Именно в таких условиях никто из членов группы не будет желать изменения сложившегося положения дел.

СОЦИАЛЬНЫЙ ОПТИМУМ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ ОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Условия определённости здесь будут рассматриваться в абсолютном смысле. Это значит, что мы будем исходить из того, что все члены рассматриваемой простой интегральной группы располагают полной информацией об индивидуальных системах предпочтений, имеющих ограничения, а также обладают способностью без затрат усилий и времени обрабатывать соответствующую информацию. В этих, признаем, абсолютно нереалистичных условиях само наличие группового оптимума является гарантией его достижения.

Особо следует сказать о характеристике индивидуальных предпочтений. Особенности “экономического человека” А. Смита состоят, как известно, в том, что его предпочтения формируются исключительно в отношении уровня собственного потребления. Разумеется, такой субъект хозяйственной деятельности — это абстрактная фигура, введение которой в экономический анализ позволяет лучше понять существо рыночных отношений. В то же время ясно, что реальных людей, помимо собственного потребления, в той или иной степени интересует состояние общества, в котором они живут, а следовательно, и уровень благосостояния других его членов. В терминологии К. Эрроу люди являются носителями как вкусов, формирующих в отношении потребляемых ими благ, так и ценностей [1, р. 18], являющихся продуктом общественного развития. С учётом этого мы будем исходить из того, что индивидуальные функции полезности в общем случае содержат два вида независимых аргументов. Первые связаны исключительно с удовлетворением “эгоистических” потребностей индивида, а вторые характеризуют его отношение к состоянию социума, в том числе отражают индивидуальное восприятие значимости тех уровней благосостояния, которых достигают другие члены общества. Соответственно, индивидуальная социальная (верхний индекс s) функция полезности может быть представлена следующим образом:

$$U_k^s = U_k^s(U_1(x^1), \dots, U_k(x^k), \dots, U_m(x^m)), \quad (2)$$

где U_k^s — функция (социальной) полезности индивидуума k , $U_j(x^j)$, $j = 1, \dots, m$ — функции индивидуальной “эгоистической” полезности каждого из m членов группы, x^j — вектор потребления соответствующего члена группы. Сразу же заметим, что индивидуальная функция общественной полезности сводится к функции полезности экономического человека А. Считая $U_j(x_1^j, \dots, x_n^j)$ (“эгоистическая функция полезности”) в том случае, когда $\frac{\partial U_k^s}{\partial U_j} = 0$ ($k \neq j$).

Проблему общественного оптимума будем рассматривать в самом простом виде — в условиях, когда перед членами группы стоит задача оптимального распределения имеющегося набора благ. При этом надеемся, что выводы, вытекающие из модели *чистого распределения*, окажутся столь же полезными для изучения проблемы общественного выбора, как и выводы, вытекающие из модели *чистой торговли*, — для изучения закономерностей обмена.

Итак, имеются m членов группы, потребляющих n благ. Общее количество этих благ (endowment) задано вектором $e = (e_1, \dots, e_n)$. Оно и формирует ограничения для всех членов группы при решении каждым из них задачи максимизации целевой функции:

$$x_{i1}^k + \dots + x_{ik}^k + \dots + x_{im}^k = e_i, \quad (i = 1, \dots, n), \quad (n \text{ уравнений}). \quad (3)$$

Таким образом, эти уравнения говорят о том, что, с точки зрения k -го члена группы (верхний индекс k), суммарное количество блага i , которое окажется в результате распределения у всех её членов, будет равняться исходному количеству e_i .

Несложно убедиться, что необходимые условия наличия максимума у функции (2) при ограничениях (3) будут иметь следующий вид:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_{ij}^k} = \frac{\partial U_k^s}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial x_{ij}^k} \cdot e_i - \lambda_i = 0 \quad (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m), \quad n \times m \text{ уравнений} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_i} = e_i - x_{i1}^k - \dots - x_{ik}^k - \dots - x_{im}^k = 0, \quad n \text{ уравнений}, \quad (5)$$

где $\mathcal{L}$ — функция Лагранжа, построенная на основе целевой функции и ограничений (3).

Решение системы уравнений (4)–(5) позволяет определить оптимальное, с точки зрения k -го агента, распределение благ между всеми членами общества. При таком распределении должно соблюдаться следующее условие:

$$\left(\frac{\partial U_k^s}{\partial U_g} \cdot \frac{\partial U_g}{\partial x_{ig}^s} \right) / \left(\frac{\partial U_k^s}{\partial U_h} \cdot \frac{\partial U_h}{\partial x_{ih}^s} \right) = 1. \quad (6)$$

Таким образом, при оптимальном с позиции k -го субъекта распределении имеющегося набора благ величины социальной предельной полезности любого (i -го) блага $\frac{\partial U_k^s}{\partial x_{ij}^s} = \frac{\partial U_k^s}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial x_{ij}^s}$ у двух любых членов общества g и h должны быть одинаковыми.

Сразу же отметим, что в случае, когда общество состоит из “отпетых эгоистов” А. Считая, данное условие соблюдаться не может: левая часть этого выражения всегда равняется нулю, поскольку по определению $\frac{\partial U_k^s}{\partial U_j} = 0$ ($k \neq j$). И это

не случайно, так как максимум функции для “экономического человека” может быть достигнут только тогда, когда в его распоряжении окажутся все имеющиеся блага $e_1, \dots, e_n$.

В случае, когда мы имеем дело с “альтруистами”, такой проблемы нет в том смысле, что каждый из них учитывает при поиске оптимального распределения благ не только величину собственного потребления. Однако появляется другая заковыка: оптимальные, с точки зрения различных членов общества, распределения благ могут совпасть лишь в том случае, если одинаковыми являются их индивидуальные функции социальной

полезности (или, иначе, если значения $\frac{\partial U_k^s}{\partial U_j}$, ($k = 1, \dots, j, \dots, m$) одинаковы для всех экономических агентов). Только тогда можно говорить о существовании точки согласования индивидуальных интересов, определяемой конфигурацией индивидуальных предпочтений членов социума.

Однако в условиях, когда индивидуальные функции общественного благосостояния членов социума не совпадают, согласование их интересов в принятом нами смысле возможно только при использовании членами общества некоего правила (алгоритма, принципа), позволяющего трансформировать различные индивидуальные функции общественного благосостояния U_k^s в единую для всех функцию U^* . Понятно, что спектр правил, позволяющих интегрировать индивидуальные предпочтения членов социума, безграничен.

Предположим, например, что индивидуальные функции общественной полезности являются аддитивными и имеют следующий вид:

$$U_k^s = \alpha_1^k \cdot U_1(x^1) + \dots + \alpha_m^k \cdot U_m(x^m) \quad (7)$$

Задача членов социума состоит в этом случае в том, чтобы согласовать и использовать в своих индивидуальных функциях общественной полезности единые значения коэффициентов $\alpha_1, \dots, \alpha_m$. Предположим, они сошлись в том, что все эти коэффициенты должны быть равными $1/m$, то есть свидетельствовать о равном влиянии индивидуальных эгоистических полезностей членов социума на восприятие каждым из них социального оптимума. Тогда оптимальное распределение благ окажется одинаковым для каждого экономического агента и будет, в соответствии с принятой нами договорённостью, определять социальный оптимум.

Таким образом, возможность гармонизации интересов членов простой интегральной группы в общем случае предполагает существование той или иной институциональной среды, формирование которой, само по себе, может быть лишь результатом решения, согласованного членами группы. А это значит, что возникновение проблемы “цикличности” оказывается неизбежным и при подходе к общественному выбору с позиций согласования интересов членов социума.

Обратим внимание на следующее обстоятельство. Наличие у всех членов социума одной и той же функции индивидуальной общественной полезности означает, что все они одинаково ранжируют различные состояния социума по степени их предпочтительности. Но не означает ли это, что так же ранжирует эти состояния и общество в целом? В случае положительного ответа (а он может показаться вполне естественным) мы возвращаемся к концепции групповых предпочтений и соответствующей им функции групповой (общественной) полезности. Роль последней здесь будет играть единая функция индивидуальной общественной полезности.

Понятно, что групповая система предпочтений и выражающая её функция групповой полезности будут при такой трактовке носить не естественный, вытекающий из внутренних свойств социума, а “рукотворный” характер. Но это само по себе не свидетельствует о преимуществе подхода, основанного на идее согласования индивидуальных интересов, поскольку необходимая для такого согласования единая функция индивидуальной общественной полезности имеет точно такую же искусственную природу. Более важным представляется следующее обстоятельство. *Субъективная сопоставимость* индивидуальных полезностей, проявляющаяся в индивидуальных функциях общественного благосостояния, не противоречит постулатам ординалистской теории. Тот факт, что общая для всех *индивидуальная* функция благосостояния формируется на весьма шатких, договорных основах, играет в этом смысле, скорее, положительную роль: неизбежные

межличностные сопоставления индивидуальных полезностей, которых при таких согласованиях невозможно избежать, выступают как искусственный приём, позволяющий найти именно точку *гармонизации* индивидуальных интересов, а не получить объективное, с точки зрения социума, ранжирование всех его возможных состояний.

СОГЛАСОВАНИЕ ИНТЕРЕСОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Механизмы социального выбора в рамках “простого общества”. Когда речь идёт о ситуации определённости, выявить индивидуальные предпочтения участников простой группы не составляет труда, а интегрирование предпочтений происходит автоматически, коль скоро членами общества принят порядок его проведения. Принципиально иная ситуация складывается в условиях неопределённости⁸: здесь для решения подобных задач дополнительно требуются не только усилия членов общества, но и наличие специальных институтов, совокупность которых формирует механизм социального выбора. Таким образом, потребность в институциональном обеспечении общественного выбора в условиях неопределённости возрастает. Наряду с принципом социального выбора, определяющим параметры социального оптимума, возникает необходимость в особом механизме, обеспечивающем максимальное приближение к этому состоянию.

Начать имеет смысл с анализа возможности решения этой задачи при помощи механизма согласования интересов, основанного на аналитической работе, которая ориентирована на оценку имеющихся у общества ресурсов и индивидуальных предпочтений членов группы (плановый механизм). Ключевая проблема здесь — сбор и обработка необходимой информации.

Естественным способом получения сведений об индивидуальных предпочтениях представляется механизм голосования⁹. Однако его способность решать эту задачу ограничена. Он применим исключительно для выбора из счётного (причём весьма ограниченного) количества альтернатив. Понятно, что поставить на голосование членов общества бесконечное количество состояний социума, чтобы выбрать из них наилучший или даже провести их ранжирование невозможно

⁸ Условия неопределённости здесь трактуются не с точки зрения распределения вероятностей возможных исходов тех или иных действий, а как ситуация, в которой экономические агенты не обладают всей полнотой информации и способностью мгновенно и идеально её обрабатывать.

⁹ Как отмечалось выше, К. Эрроу рассматривал институт голосования как самостоятельный способ социального выбора. Представляется, что де-факто он трактовал его шире, чем простое выявление индивидуальных предпочтений, а именно так, как здесь трактуется плановый механизм.

в принципе. В то же время голосование в той или иной его форме, по всей видимости, является фактически безальтернативным инструментом определения принципа социального выбора, а также выполнения ряда функций, связанных с существованием малых групп.

Сведения, касающиеся индивидуальных предпочтений, могут быть частично получены также за счёт проведения социологических опросов и аналитическим путём — на основе обработки статистических данных, характеризующих положение дел в предшествующие периоды. Однако очевидно, что и в этом случае информация явно не может быть исчерпывающей, а её сбор будет сопряжён с серьёзными системными издержками (издержки управления). Само существование последних исключает возможность точного попадания в искусственно сконструированную точку оптимального выбора, поскольку часть ресурсов приходится расходовать не на производство потребительских благ, а на информационное обеспечение процесса принятия решений.

С учётом сказанного понятно, почему использование планового механизма неизбежно сопровождается работой с более или менее агрегированной информацией. Соответственно, укрупнённым, недетализированным оказывается и получаемое представление о самом социальном оптимуме. Это также затрудняет попадание в состояние социального оптимума при помощи планового механизма.

Конечно, возникает вопрос о том, кому надлежит выполнять всю аналитическую работу, связанную с реализацией планового механизма социального выбора. Поскольку на данной стадии предметом исследования является простая интегральная группа, не имеющая никаких других участников, кроме отдельных людей, постольку нам не остаётся ничего другого, как считать, что именно они должны осуществлять эту деятельность. Более реалистичный ответ возможен лишь на этапе анализа сложной группы.

Рыночный механизм позволяет резко сократить издержки, связанные со сбором и обработкой информации. Его запуск связан с закреплением в собственности отдельных членов общества имеющих благ. Механизм прямых и обратных связей между индивидуальными системами предпочтений и пропорциями обмена оказывается, как известно, инструментом, подталкивающим экономику к состоянию общего равновесия. Но возникает вопрос: можно ли рассматривать общее равновесие как состояние, соответствующее социальному оптимуму, то есть точке согласования интересов членов общества?

В целом ответ должен быть отрицательным. Состояние общего равновесия, как известно, характеризуется Парето-эффективностью; при этом

положение точки общего равновесия на границе производственных возможностей (трансформационной поверхности) находится в прямой зависимости от исходного распределения ресурсов между субъектами рыночной экономики. Поскольку рынок способен обеспечивать согласование только эгоистической части индивидуальных предпочтений членов общества, постольку результат его функционирования не зависит от того, являются ли участниками меновых операций “экономические люди” А. Смита или социально ориентированные индивидуумы. Но это как раз и означает, что функционирование рынка, в том числе в среде альтруистически настроенных личностей, в общем случае не может обеспечить достижение социального оптимума, как оно было выше определено (см. уравнения (2)–(5)).

В то же время из второй фундаментальной теории экономики благосостояния следует, что (при определённых допущениях в отношении множества производственных планов, индивидуальных предпочтений и множества потребительских наборов) любой точке на границе производственных возможностей будет соответствовать такое распределение прав собственности, при котором она оказывается одновременно точкой общего равновесия [15]. Отсюда сразу же следует, что выход в точку согласования интересов в условиях рыночной экономики может происходить в два этапа. На первом обеспечивается достижение такой конфигурации прав собственности, которая отвечает согласованному принципу социального выбора, а на втором — в дело вступает механизм товарного обмена. Фактически речь здесь идёт о совместном применении аналитического и рыночного механизмов.

Этот способ достижения социального оптимума может быть описан при помощи следующей модели:

$$\text{Max} U^* = U^*(U_1(x_{11}, \dots, x_{n1}), \dots, U_m(x_{1m}, \dots, x_{nm})) \quad (8)$$

при ограничении:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ij} - e_{ij}) \cdot p_i = 0, \quad (9)$$

где e_{ij} — количество i -го блага, принадлежащего в начальный момент j -му члену общества.

Следует обратить внимание на ограничение (9). Требование, чтобы меновая ценность товаров, поступающих в обмен, равнялась меновой ценности товаров, полученных в результате обмена, здесь относится не к каждому отдельному члену общества, а ко всем им вместе взятым. Тем самым обеспечивается возможность первоначального

выхода на желаемую конфигурацию прав собственности¹⁰.

Отметим следующее обстоятельство. Легко убедиться, что ограничение (9) может быть представлено в следующей форме:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ij} - e_{ij}) \cdot p_i &= \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot p_i - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \sum_{j=1}^m e_{ij} \\ &= \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot p_i - \sum_{i=1}^n e_i \cdot p_i = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Это позволяет увидеть, что первоначальное распределение благ между членами общества никакого значения для решения поставленной задачи не имеет. И это не удивительно: ведь существует единственно возможное распределение прав собственности, при котором рынок приведёт экономику в точку социального оптимума.

Поскольку эта модель прямо затрагивает — благодаря ограничениям (10) — всех экономических агентов, постольку она позволяет определить не функции спроса каждого из них в отдельности, а состояние общего равновесия, отвечающее социальному оптимуму (в соответствии со взглядами соответствующего субъекта). В этих условиях цены p_i выступают в качестве независимых переменных модели, а не её параметров.

С учётом сказанного получаем следующую функцию Лагранжа и необходимые условия наличия максимума у целевой функции:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = U^*(U_1(x_{11}, \dots, x_{n1}), \dots, U_m(x_{1m}, \dots, x_{nm})) + \\ + \lambda \cdot \left(\sum_{i=1}^n e_i \cdot p_i - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot p_i \right) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial U^*}{\partial U_j} \cdot \frac{\partial U_j}{\partial x_{ij}} - \lambda \cdot p_i = 0 \quad (12)$$

($m \times n$ уравнений)

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial p_i} = \lambda \cdot \left(e_i - \sum_{j=1}^m x_{ij} \right) = 0 \quad (n \text{ уравнений}) \quad (13)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^n e_i \cdot p_i - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot p_i = 0 \quad (14)$$

(одно уравнение).

Из уравнений (12)–(14) получаем равновесные величины товаров x_{ij} , которые должны оказаться в результате двух упомянутых этапов перераспределения в распоряжении каждого члена общества, а также равновесные цены p_i . Легко опреде-

лить также и масштаб перераспределения меновой ценности между экономическими агентами. Для каждого из них её изменение в результате первого этапа перераспределения составит

$$\sum_{i=1}^n (e_{ik} - x_{ik}) \cdot p_i.$$

Как известно, имеются сферы, в которых действие рыночного механизма даёт сбой. Существо провалов рынка применительно к производству и потреблению общественных благ и побочных эффектов хозяйственной деятельности хорошо известно. Рынок также плохо приспособлен к регулированию разделения труда и уровней потребления в рамках домашних хозяйств, вовлечению в самостоятельный оборот производственных услуг работников, являющихся неразрывным элементом единой технологической системы. Всё это не может не увеличивать разрыв между социальным оптимумом и фактическим положением дел, которого можно добиться при помощи рыночного механизма.

В целом, как известно, действие рыночного механизма сопряжено с системными издержками, получившими название *транзакционных*. Их существование приводит к тому, что и при данном механизме группового выбора возможно лишь приближение к точке социального оптимума, основанной на согласованном членами группы правиле.

Наконец, отметим следующее обстоятельство. Все рассмотренные варианты нахождения точки согласования интересов основываются на полученной по определённому алгоритму единой индивидуальной функции общественной полезности. Однако понятно, каких усилий на практике потребовало бы одно только определение необходимых для этого индивидуальных функций полезности. Эти издержки можно существенно сократить, если допустить более грубое решение — согласование членами социума принципа распределения имеющихся благ. Такой принцип общество может формулировать на основании разных критериев, в том числе относящихся к сфере производства.

Для иллюстрации этого тезиса воспользуемся марксовой моделью первой стадии коммунизма, которая предусматривала, что каждый член общества будет получать право на долю в общественном продукте в соответствии с количеством затраченного им труда [16]. Этот принцип теоретически можно было бы реализовать — здесь мы отклоняемся от канонического замысла — путём передачи в собственность членам общества каждого вида произведённого продукта в количестве, соответствующем их трудовой доле. На следующем этапе каждый из них мог бы вступить в отношения обмена с другими членами общества, стре-

¹⁰Здесь полезна аналогия с современной практикой: эквивалентный обмен между субъектами рынка происходит после уплаты ими налогов, которые как раз и обеспечивают первичное перераспределение ресурсов между ними.

мось максимизировать уровень собственного благосостояния.

Сложные группы как инструмент адаптации к условиям неопределённости и ограниченной рациональности. Наличие крупных системных издержек в рамках простой интегральной группы и неизбежность связанного с этим значительного отклонения от абстрактного состояния социального оптимума приводят к тому, что важнейшим способом адаптации к условиям неопределённости становится *формирование малых групп*, которым делегируется выполнение ряда функций по согласованию индивидуальных интересов. Простая интегральная группа трансформируется в сложную интегральную группу, в которой участниками большой системы наряду с индивидами становятся и малые группы.

Появление малых групп, сокращая системные издержки по одному направлению, одновременно создаёт новые проблемы — согласования интересов на уровне самих малых групп, а также гармонизации индивидуальных, групповых и общественных интересов. Соответственно, на всех этих уровнях требуется определение общих принципов такого согласования. Под действием разнонаправленных сил при формировании институциональной структуры интегральной группы её субъекты должны стремиться к тому, чтобы в пределах выгоды от увеличения количества малых групп (снижение транзакционных издержек, связанных с гармонизацией многообразных межличностных отношений) не оказались больше соответствующих потерь (удаление от абстрактного оптимума из-за замены одного критерия оптимума рядом нуждающихся в согласовании критериев). Игнорирование издержек, обусловленных функционированием простой интегральной группы в условиях неопределённости, приводит к непониманию причин, которые делают, по сути дела, безальтернативным их превращение в сложные группы. Так, советский экономист Н.И. Ведута полагал [17], что практика хозрасчёта социалистических предприятий являлась глубоко ошибочной, поскольку модель социалистической экономики, описанная К. Марксом в “Критике Готской программы”, предполагала формирование экономических отношений исключительно между отдельными членами общества и обществом в целом.

Особый вид коллективного субъекта, играющего существенную роль в жизни современного общества, представляет собой группа, которая выполняет функцию органа управления другой, большей по отношению к ней группы. На уровне национальной экономики таким управляющим центром является государство¹¹, которое решает

целый комплекс важнейших задач: правотворчество (в том числе связанное с формированием принципа социального выбора) и правоприменение, сбор и обработка информации, характеризующей состояние экономики, принятие решений, призванных обеспечить максимально возможное приближение экономики к оптимальному состоянию. С этой целью государство принимает решения о желаемых масштабах перераспределения ресурсов и реализует его при помощи инструментов экономической политики. Деятельность государства играет важнейшую роль в создании условий для согласования интересов, формирующихся на всех уровнях национальной экономики.

Невозможность получения и обработки всей информации заставляет государство прибегать к таким методам “второго наилучшего выбора”, как формулирование целей и приоритетных направлений развития, разрабатывать его возможные сценарии, сопоставлять их между собой с точки зрения соответствия общественным интересам. Последнее обстоятельство — ранжирование государством некоторых из возможных вариантов общественного развития — и становится, по всей видимости, основанием для формализации в научных исследованиях этой деятельности с помощью функции общественного благосостояния.

При формировании органов управления, а отчасти и в процессе их функционирования особая роль принадлежит институту голосования. С его помощью отбираются лица, которым делегируется право принятия важнейших решений нормативного и исполнительного характера, а также принимаются наиболее важные решения. Рутинная деятельность органов управления регулируется отношениями административного характера.

Одна из серьёзных проблем, которые сопровождают функционирование любого органа управления, заключается в том, что у работающих в его рамках людей неизбежно возникает конфликт интересов. С одной стороны, они должны прилагать все усилия для улучшения положения большой группы, являющейся объектом управления, с другой — они заинтересованы в максимизации собственного благосостояния. Результатом этого противоречия становится неизбежность принятия решений типа “второго наилучшего выбора”, направленных на максимальную гармонизацию подобных устремлений. Между тем необходимость таких действий сама по себе свидетельствует об ограниченных возможностях приближения к социальному оптимуму.

В экономической системе важнейшее место занимают такие малые группы, как предприятия (фирмы) и домашние хозяйства. Производственной основой предприятий являются технологии, основанные на коллективном труде. Комбинация таких элементарных производственных систем,

¹¹Здесь государство рассматривается не как страна, а как синоним органов государственного управления.

формируемая с учётом возможностей обработки информации и принятия рациональных решений, оказывается естественной основой нижнего уровня иерархического управления в плановой экономике.

В рыночном хозяйстве регулирование при помощи товарного обмена услуг, предоставляемых частичными работниками¹² в рамках технологически детерминированных видов кооперации труда, практически невозможно: связанные с ним трансакционные издержки оказались бы предельными. В этих условиях производство товара в рамках такой малой группы, как предприятие осуществляется в плановом режиме, вследствие чего в развитой рыночной экономике сосуществуют и дополняют друг друга два интегральных механизма общественного выбора — план и рынок. Границы между ними, как показал Р. Коуз, в идеале должны проходить там, где предельные трансакционные издержки, связанные с расширением рыночной сферы, оказываются равными предельным издержкам управления в результате увеличения масштабов предприятия [18]. В сущности, сформулированный выше принцип, определяющий формирование сложной структуры у интегральной группы, является обобщением этой идеи Р. Коуза.

Важная особенность капиталистической фирмы как малой группы связана с принципиально различным положением в её рамках двух действующих лиц — собственников капитала и наёмных работников. Работники становятся сотрудниками фирмы в результате процедуры найма и являются главным образом исполнителями решений, инициированных собственниками капитала. В некотором отношении роль наёмных работников внутри фирмы мало чем отличается от роли материальных факторов производства. Поэтому вся деятельность фирмы подчинена интересам собственников капитала. В условиях, когда собственник один, абсолютно естественно говорить о целевой функции фирмы: она является производной от индивидуальной функции полезности, а следовательно, и предпочтений собственника. Ситуация усложняется, когда у фирмы не один владелец капитала, как это, например, имеет место в акционерных обществах. Конечно, максимизация дохода от инвестированного капитала является целью каждого из собственников. Однако они могут по-разному оценивать эффективность тех или иных инвестиционных проектов, а также им может быть свойственно различное отношение к риску. Очевидно, что в этих случаях мы сталкиваемся с проблемой согласования ин-

тересов собственников капитала фирмы, а целевая функция фирмы становится результатом подобного согласования.

Особого внимания заслуживает такая малая группа, как домашнее хозяйство. Теоретически можно представить состояние полной согласованности интересов членов простой интегральной группы, включая потребности каждого из них в формировании семьи, продолжении рода, воспитании детей и заботе о старшем поколении. Обеспечить сколько-нибудь приемлемое приближение к этому состоянию в условиях неопределённости без превращения домашнего хозяйства в самостоятельного участника экономических отношений невозможно. Выполнение домашним хозяйством этой роли предполагает наличие у него и собственного интереса, и возможностей его реализации.

Опыт свидетельствует о существовании различных форм организации домашних хозяйств. В одних семьях имеются свои “диктаторы”, чья система предпочтений проецируется на семью в целом, в других — принятие решений в различных областях делегировано отдельным членам домашнего хозяйства, в третьих — по наиболее важным вопросам члены домашнего хозяйства (или часть из них) делают выбор при помощи голосования и т.д. и т.п. Но во всех случаях избранная модель является результатом явного или неявного согласования интересов членов домашнего хозяйства. По всей видимости можно без особой натяжки заключить, что члены домашнего хозяйства тем или иным способом искусственно конструируют универсальную функцию индивидуальной групповой полезности. Последняя, как мы видели, может рассматриваться как искусственно сконструированная *групповая функция благосостояния*, на основе которой и формируются функции спроса домашнего хозяйства.

На основе проведённого исследования можно заключить, что однозначно определяемой точки социального оптимума не существует, и в этом смысле он может рассматриваться как своего рода призрак. Ситуация становится ещё более загадочной с учётом того, что отсутствуют и идеальные механизмы выхода в любую искусственно сконструированную точку, претендующую на эту роль.

Для большего или меньшего приближения к согласованному идеалу на практике приходится применять решения, относящиеся к категории “второго наилучшего выбора”. В их числе: комбинация различных механизмов социального выбора; поиск оптимальной конфигурации малых групп в рамках большой группы; конструирова-

¹²Частичный работник — это узкоспециализированный работник, который полностью сконцентрирован на выполнении какой-то одной операции, обусловленной сложившимся разделением труда.

ние социального оптимума на основе агрегированной информации с использованием инструментария, характерного для подхода с позиций групповых предпочтений (выделение социально-экономических приоритетов, сопоставление различных сценариев развития); противодействие провалам рынка и корректировка сложившегося распределения собственности через изменения налоговой политики; экспериментирование с различными формами голосования и областями его применения. И без того запутанная проблема ещё более осложняется следующими двумя обстоятельствами. Во-первых, в составе социума и его отдельных групп происходят постоянные изменения, а следовательно, меняется и конфигурация подлежащих интегрированию индивидуальных представлений об общественном благе. Во-вторых, научно-технический прогресс непрерывно вносит коррективы в возможности, имеющиеся в распоряжении людей.

Между тем практика свидетельствует о том, что общественная система, опирающаяся, казалось бы, на столь шаткие основания, оказывается относительно устойчивой. Её устойчивость определяется тем, что люди прекрасно осознают выгоды, которые даёт им взаимодействие друг с другом. Поскольку взаимодействие невозможно без участия определённых институтов, постольку в человеческом сообществе формируются механизмы их защиты. К таковым, в частности, относятся воспитание и поддержание у членов социума уважения к национальным интересам, культивирование традиций на уровне многих малых групп. Люди также оценивают результаты функционирования действующих правил общественного выбора не в статике, а в динамике, то есть ориентируясь не на отдельные исходы, а на их совокупность, наблюдаемую в течение более или менее длительного времени.

Однако очевидна неизбежность того, что в определённые периоды люди испытывают большую или меньшую неудовлетворённость результатами общественного взаимодействия и предпринимают усилия по его усовершенствованию. Иногда такие усилия оказываются тщетными, и это ведёт к исчезновению или распаду одних групп и формированию других, в том числе посредством слияния прежде самостоятельных групп.

Таким образом, общий вывод состоит в следующем. Социальный оптимум — это, действительно, призрак, однако он жизненно необходим для людей. Его образ подвержен труднопредсказуемым изменениям под влиянием эволюционирующих представлений о принципах согласования индивидуальных интересов, непрерывного обновления состава социума, меняющихся производственных условий. Но в целом представление

об общих интересах оказывается достаточно устойчивым на определённых отрезках времени.

Отмеченные особенности делают социум особым предметом исследований по сравнению с естественно-научными объектами. Наличие твёрдых оснований в виде системы индивидуальных предпочтений и имеющихся производственных возможностей позволяет прийти к определённому выводу о состоянии, к которому следует стремиться обществу, только в том случае, если известны точные характеристики институциональной среды. Однако формирование последней происходит в значительной степени на основе метода проб и ошибок при отсутствии однозначных критериев эффективности. Это неизбежно приводит к появлению зоны неопределённости между выводами чистой теории и экономической практикой [19]. Эту зону заполняют конкретные исследования, как правило, междисциплинарного характера, которые иногда даже рассматриваются как субститут экономической теории [20]. Подобные исследования оперируют имеющейся информацией об обществе, каковым оно является в соответствующий момент времени. Такая работа, несомненно, очень важна, но она не может полностью ликвидировать упомянутую зону неопределённости. Не может она быть и по-настоящему эффективной, если не опирается на базовые положения чистой теории.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Arrow K.* Social Choice and Individual Values. N.Y.; L.: John Wiley & Sons, Inc., Chapman & Hall, 1951.
2. *Arrow K.* Social Choice and Justice. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press, 1983.
3. *Pareto V.* Manuel d'économie politique, deuxième édition. Paris: M. Giard, 1927.
4. *Рубинштейн А.* Структура и эволюция социального интереса. Препринт. М.: ИСЭ Пресс, 2003.
5. *Grinberg R., Rubinstein A.* Economic Sociodynamics. Springer, 2005.
6. *Buchanan J.* Public Finance in Democratic Process. Fiscal Institutions and Individual Choice. Chapel Hill: The University of North Carolina Press, 1967.
7. *Bergson A.* A Reformulation of Certain Aspects of Welfare Economics // Quarterly Journal of Economics. 1938. V. 52. P. 310–334.
8. *Сен А.* Возможность общественного выбора. Нобелевская лекция. 8 декабря 1998 г. / Политиком об экономике. Лекции нобелевских лауреатов по экономике. М.: Современная экономика и право, 2005.
9. *Kaneko M., Nakamura K.* The Nash Social Welfare Functions // Econometrica. 1979. № 47. P. 423–436.
10. *Nash J.* The Bargaining Problem // Econometrica. 1950. № 18 (2). P. 155–162.

11. *Некипелов А.* Становление и функционирование экономических институтов. От “робинзонады” до рыночной экономики, основанной на индивидуальном производстве. М.: Экономистъ, 2006.
12. *Хайек Ф.* Дорога к рабству. М.: Новое издательство, 2005.
13. *Silberberg E.* The Structure of Economics. A Mathematical Analysis. Second Edition. McGraw-Hill Publishing Company, 1990.
14. *Вагнер Р.* Фискальная социология и теория государственных финансов. Исследовательское эссе // Экономическая социология. 2016. Т. 17. № 2. Март. С. 88–110.
15. *Hindriks J., Myles G.* Intermediate Public Economics. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2013.
16. *Маркс К.* Критика Готской программы / Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е. М.: Госполитиздат, 1961. Т. 19. С. 9–32.
17. *Ведута Н.И.* Социально эффективная экономика / Под общей ред. д-ра экон. наук Е.Н. Ведуты. М.: Изд-во РЭА, 1999.
18. *Coase R.* The Nature of the Firm // *Economica*. 1937. № 4 (16). P. 386–405.
19. *Некипелов А.Д.* Кризис в экономической науке — природа и пути преодоления // Вестник Российской академии наук. 2019. № 1. С. 24–37.
20. *Полтерович В.М.* Становление общего социального анализа // Общественные науки и современность. 2011. № 2. С. 101–111.

ПОСТОЯННЫЕ НЕОДИМОВЫЕ МАГНИТЫ В РОССИЙСКОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ

© 2023 г. В. А. Крюков^{а,*}, О. В. Жданеев^{б,**}, В. А. Яценко^{а,***}, К. Н. Фролов^{б,****}

^аИнститут экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Россия

^бРоссийское энергетическое агентство Министерства энергетики РФ, Москва, Россия

*E-mail: valkryukov@mail.ru

**E-mail: Zhdaneev@rosenergo.gov.ru

***E-mail: yva@ieie.nsc.ru

****E-mail: Frolov@rosenergo.gov.ru

Поступила в редакцию 15.02.2023 г.

После доработки 10.04.2023 г.

Принята к публикации 30.04.2023 г.

Статья посвящена проблемам ветроэнергетики в России. Один из ключевых вопросов развития ветроэнергетики в нашей стране — бесперебойное снабжение производителей ветрогенераторов постоянными неодимовыми магнитами и сырьём для их изготовления. После распада СССР в стране сохранилось небольшое количество предприятий, обладающих необходимыми компетенциями и технологическим оборудованием для производства магнитов на основе редкоземельных металлов (РЗМ). Однако проблема состоит в том, что Россия не располагает полной цепочкой производства до уровня оксидов, а также индивидуальных редкоземельных элементов и сплавов на их основе. Все постоянные магниты на основе РЗМ импортируются, а перебои с поставками негативно сказываются на работе высокотехнологичных компаний, а также предприятий ТЭК и военно-промышленного комплекса. Авторы статьи анализируют потребность ветроэнергетики страны в постоянных неодимовых магнитах, полный цикл выпуска которых может стать одним из стимулов восстановления цепочки производства РЗМ и продукции на их основе.

Ключевые слова: постоянные неодимовые магниты, редкоземельные металлы, ветроэнергетические установки, топливно-энергетический комплекс, возобновляемые источники энергии, производственная цепочка.

DOI: 10.31857/S0869587323050067, EDN: VWFBVAV

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) — система, которая объединяет разные отрасли, связанные с добычей и производством первичных энергетических ресурсов, переработкой их в другие виды топлива и виды энергии, а также транспортировкой и распределением между потребителями. Эта система обеспечивает промышленность и население всеми видами энергии и пополняет бюджет страны за счёт экспорта углеводородов. Функциональное их применение — не

только инструмент внутренней и внешней политики, но и один из показателей технологического развития страны. ТЭК России занимает второе место в мире (после США) по производству энергетических ресурсов и третье — по их внутреннему потреблению (после США и Китая).

Глобальная энергетическая система находится сегодня в процессе перехода к “чистой” энергетике, определённого рамками Парижского соглашения по климату 2015 г. [1]. Главная его цель — удержание прироста глобальной средней температуры в пределах 1.5–2°C сверх доиндустриальных уровней, что обязывает страны и компании существенно снизить выбросы парниковых газов за счёт новых технологий производства тепло- и электроэнергии. Появление этих технологий меняет структуру потребления минерально-сырьевых ресурсов (МСР). На первое место выходят такие важнейшие химические элементы, как медь,

КРЮКОВ Валерий Анатольевич — академик РАН, директор ИЭОПП СО РАН. ЖДАНЕЕВ Олег Валерьевич — кандидат физико-математических наук, заместитель генерального директора РЭА Минэнерго России. ЯЦЕНКО Виктор Анатольевич — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник ИОПП СО РАН. ФРОЛОВ Константин Николаевич — директор проекта Центра компетенций технологического развития ТЭК РЭА Минэнерго России.

никель, литий, кобальт и, конечно, редкоземельные металлы (РЗМ)¹, поскольку постоянные магниты на их основе становятся ключом перехода к чистой и возобновляемой энергетике. Они используются в электрических машинах ветрогенераторов, гибридных и электромобилях, производство которых ежегодно растёт. Развитие глобальной энергетической системы в новых условиях требует пересмотра подходов к цепочкам производства и поставок ключевых полезных ископаемых. Независимость этих поставок от внешней конъюнктуры — один из наиважнейших вопросов национальной безопасности.

С сожалением приходится констатировать, что в настоящее время производство полного цикла до уровня оксидов, индивидуальных РЗМ и сплавов на их основе в России отсутствует, хотя наша страна располагает одной из самых крупных редкоземельных минерально-сырьевых баз [2]. Сегодня в мире отчётливо прослеживается глобальная тенденция: темпы освоения новых источников минерально-сырьевых ресурсов и объёмы необходимых инвестиций для перехода к новой энергетической системе не соответствуют ускоряющемуся темпу производства такой высокотехнологичной продукции, как солнечные батареи, ветроэнергетические установки (ВЭУ) и электромобили. Это связано с тем, что многие ключевые ресурсы (особенно РЗМ) поступают от небольшого числа производителей, сконцентрированных всего в нескольких странах.

В нашей работе представлен анализ цепочки производства неодимовых магнитов и электрических машин на их основе, которые необходимы для развития ветроэнергетики в России. Главный вопрос: будут ли редкоземельные минерально-сырьевые ресурсы стимулирующим фактором перехода к новой энергетической системе в нашей стране или они станут “узким горлышком” в этом процессе?

Глобальная возобновляемая энергетика. С конца XIX в. самым распространённым методом получения электричества в промышленных масштабах служит процесс вращения турбины генератора мощным потоком горячего пара. И неважно, ка-

кая это электростанция — атомная или тепловая, принцип её работы уже более века остаётся неизменным независимо от вида топлива и количества контуров в системе передачи тепла [3]. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) расширяют и дополняют возможности привычного подхода. Например, концентрационные (гелиотермальные) технологии² основаны на том же принципе, только вместо сжигания углеводородного сырья и управления ядерной реакцией используется сбор солнечной энергии в относительно небольшой точке (приёмнике) благодаря специальным зеркалам (гелиостатам). Для выработки электроэнергии солнечно-тепловая энергия с приёмника передаётся на паровую турбину, подключённую к генератору. Аналогичный принцип и у геотермальных технологий, нашедших применение ещё в начале XX в.

Сегодня появляются и другие технологии производства электроэнергии, не связанные с нагревом теплоносителя и дальнейшей передачей его энергии на турбину генератора. Они позволяют напрямую получать электричество от энергии солнца или ветра, благодаря чему их можно использовать в районах с низким уровнем транспортной доступности, территориальной удалённости от промышленных центров и крупных населённых пунктов. Новые технологии могли бы расширить возможности бесперебойного энергетического обеспечения населения, например Арктической зоны, уменьшив зависимость от поставок топлива из других регионов России. К таким технологиям можно отнести фотогальванические (фотоэлектрические) панели³ и ветрогенераторы, которые сегодня стремительно совершенствуются и уже лидируют среди ВИЭ по установленным мощностям и объёму генерируемой энергии (рис. 1)^{4,5}.

SPV-технологии основаны на преобразовании солнечной энергии в электрическую с помощью специализированных панелей (фотоэлектрических преобразователей), состоящих из двух слоёв

² Concentrated solar power (CSP).

³ Solar photovoltaic, или solar PV (SPV).

⁴ Другие источники производства электроэнергии: из водорода и аммиака, гелиоконцентраторы, геотермальные, приливные станции, аккумуляторные батареи.

⁵ В отчёте “The World Energy Outlook-2021” рассматриваются следующие основные сценарии (они не являются точными прогнозами) [4]: сценарий 1 предполагает, что обязательства по сокращению выбросов CO₂ к 2050 г. будут выполнены правительствами всего мира частично; по сценарию 2 эти обязательства к 2050 г. будут выполнены правительствами всего мира полностью, в том числе на национальном уровне; сценарий 3 соответствует сценарию 2, причём страны с развитой экономикой достигают нулевого уровня выбросов к 2050 г., Китай — к 2060 г., а остальные страны — самое позднее к 2070 г.; сценарий 4 соответствует ключевым целям развития, провозглашённым ООН, — достижению нулевых выбросов CO₂ к 2050 г. и доступу населения всех стран мира к электроэнергии к 2030 г.

¹ Редкоземельные элементы (РЗЭ), или редкоземельные металлы (РЗМ), представляют собой группу из 15 лантаноидов, имеющих в таблице Менделеева порядковые номера с 57 по 71 (лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций), а также иттрий, иногда скандий (порядковые номера, соответственно, 39 и 21). РЗМ разделяют на три группы по их атомному весу: лёгкие (La, Ce, Pr, Nd), средние (Sm, Eu, Gd) и тяжёлые (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y). В зарубежной литературе РЗМ часто делят на две группы: лёгкие (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu) и тяжёлые (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y). С учётом конфигурации электронов в атомах РЗМ делят на цериевую (La, Ce, Pr, Nd) и иттриевую группы (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y).

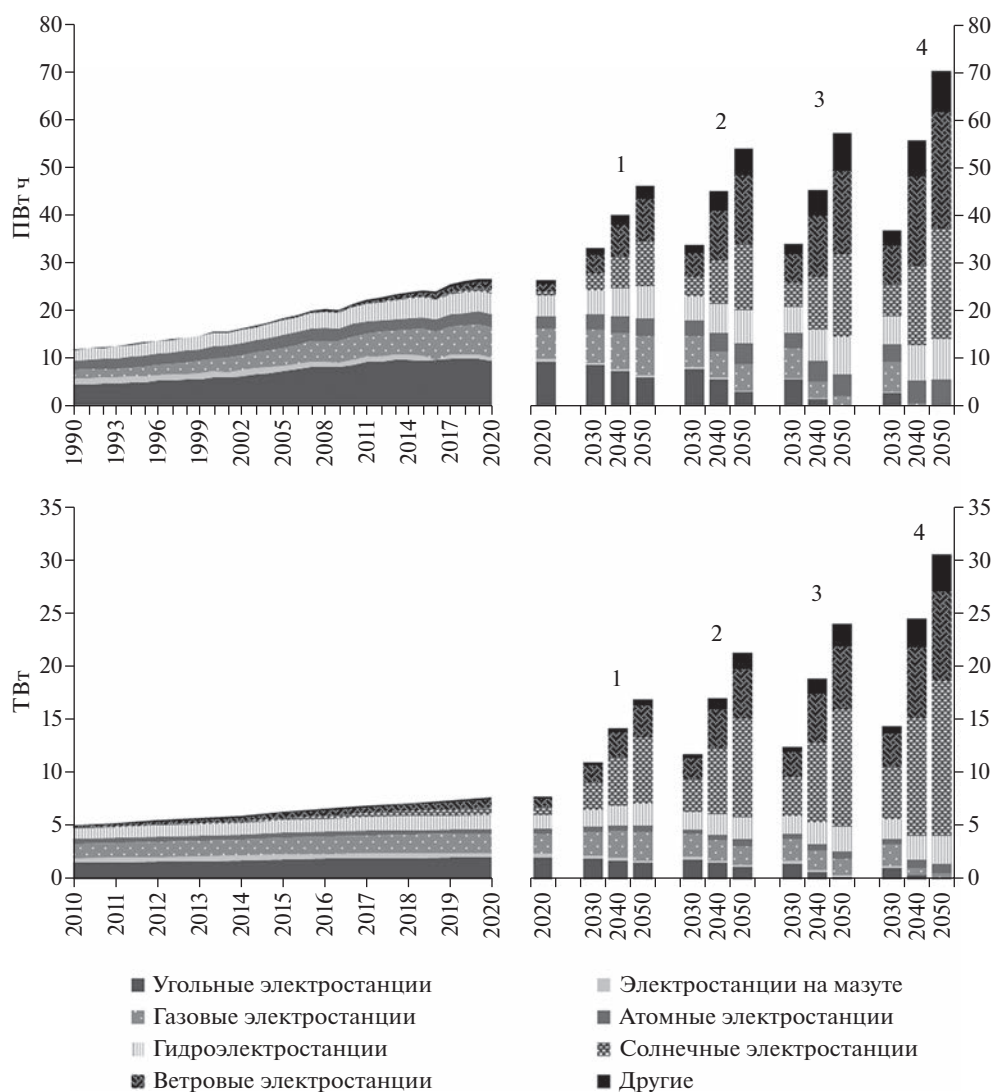


Рис. 1. Производство электроэнергии в мире за 1990–2020 гг. (вверху слева), объём установленной мощности за период 2010–2020 гг. (внизу слева) и сценарии прогноза согласно данным МАЭ до 2050 г. (справа)

Источники: диаграммы подготовлены на основе [4].

полупроводниковых материалов (часто в виде монокристаллического или поликристаллического кремния, с КПД до 17.5% и 15% соответственно). Согласно данным Международного энергетического агентства (МЭА), на конец 2020 г. суммарная мощность всех установленных SPV-панелей достигла 739 ГВт. Прогнозируется, что к концу текущего десятилетия общая установленная мощность SPV-панелей в мире может вырасти более чем в 3 раза — до 2550 ГВт [4].

Другой наиболее доступный возобновляемый источник энергии — преобразование кинетической энергии ветра в электрическую с помощью генераторов. По данным МЭА, за последние 10 лет объём установленной мощности ВЭУ в мире увеличился в 4 раза, достигнув 737 ГВт в конце 2020 г. Однако уже к 2030 г. ожидается удвоение номи-

нальной мощности до 1600 ГВт, что составит более 25% общего прироста установленной мощности по всем источникам производства электроэнергии [4]. Согласно прогнозу МЭА, 80% прироста установленной мощности в течение следующих 10 лет дадут ветро- и солнечная энергетика (см. рис. 1).

В настоящее время большая часть ветроэлектростанций (ВЭС) сосредоточена в Китае (30%), Европе (32%) и Соединённых Штатах (21%). Перспективно развитие ветроэнергетики в странах Юго-Восточной Азии, Латинской Америки и Ближнего Востока. Благодаря значительной территории, разнообразным погодно-климатическим условиям и протяжённому континентальному шельфу высокий потенциал развития солнечной и ветроэнергетики имеет и Россия. Опыт

европейских стран показал, что размещение ВЭУ на шельфе даёт ряд экономических и эксплуатационных преимуществ. Поскольку морской ветер имеет более высокую мощность и стабильность, нежели береговой, то возможно строительство более эффективных ВЭУ за счёт установки самых мощных генераторов из существующих [5].

Совместно с ветроэлектростанциями на шельфе можно использовать и морские приливные, которые способны преобразовывать энергию океанических волнений и течений в электроэнергию. Причём технологии, связанные с использованием энергии океана, отличаются не только высокой предсказуемостью, но и возможностью достижения большей удельной мощности, поэтому пригодны для непрерывного энергоснабжения потребителей [6].

Неодимовые магниты для ветроэнергетики. С развитием технологий размеры ВЭУ и мощности генераторов растут, а материалоемкость снижается. Эффект масштаба ведёт к сокращению издержек, что повышает конкурентоспособность ВЭУ в сравнении с другими технологиями производства электроэнергии. Например, в турбине мощностью 3.45 МВт содержится примерно на 15% меньше бетона, на 50% — стекловолокна, на 50% — меди и на 60% — алюминия, чем в турбине мощностью 2 МВт [7]. Однако стремительно растущий рынок генераторов существенно повышает спрос на постоянные неодимовые магниты, для производства которых требуются редкоземельные металлы, в частности неодим, празеодим, диспрозий и тербий.

Архитектура ВЭУ (а с ней и тип генератора) выбирается с учётом географического расположения и погодно-климатических условий. Скорость ветра — переменная величина, поэтому необходима синхронизация частоты вращения ротора с лопастями и с частотой электрической сети. Для того чтобы ветроэнергетическая установка работала эффективно и обеспечивала высокое качество напряжения при неоптимальных скоростях ветра (повышенная скорость может приводить к аварийным режимам работы ВЭУ), используют различные подходы и конструктивные решения [8, 9]: устанавливают коробку передач между ротором с лопастями (их угол атаки можно менять) и генератором, тормоз на валу; в зависимости от типа ВЭУ применяют синхронные или асинхронные машины, силовые преобразователи соответствующих топологий.

Типы топологий силовых преобразователей и электрических машин. Первое поколение мощных ВЭУ (от 100 кВт) создавалось на основе асинхронных машин с фазным ротором и преобразователем частоты соответствующего диапазона. Такая архитектура получила широкое распространение, поскольку относительно недорога и

проста в реализации. Кроме того, преобразователь обрабатывает только часть (20–30%) общей мощности, поэтому данный тип отличается более низкими потерями. Недостаток этой архитектуры — ограниченный диапазон управления скоростью вращения ротора, что приводит к значительным колебаниям выходной мощности, а также к увеличенной нагрузке на электрические и механические компоненты, отражающейся на стоимости технического обслуживания. Существуют два подхода к реализации этой топологии — либо асинхронный генератор с фазным ротором с регулируемым скольжением, либо с двойным питанием.

Технологический прорыв в полупроводниковой промышленности и производстве постоянных магнитов, произошедший во второй половине XX в., позволил построить новую архитектуру ВЭУ, которая даёт возможность использовать FRC⁶-преобразователи как с асинхронными, так и синхронными машинами. В последнем случае могут применяться разные роторы, в том числе фазные и с постоянными магнитами в зависимости от типа возбуждения. Конфигурация FRC позволяет управлять скоростью вращения ротора в широком диапазоне и контролировать активную и реактивную мощность, однако стоимость преобразователей и потери мощности на них выше. Кроме того, в многополюсных синхронных машинах исключена коробка передач.

В настоящее время можно выделить четыре основные топологии электрических машин, на основе которых собираются современные ВЭУ⁷:

- асинхронный генератор двойного питания с коробкой передач (GB-DFIG),
- синхронный генератор с постоянными магнитами с коробкой передач (GB-PMSG),
- синхронный генератор с постоянными магнитами без коробки передач (DD-PMSG),
- синхронный генератор с электрическим возбуждением (с фазным ротором) без коробки передач (DD-EESG).

Следует учитывать, что топология силовых преобразователей и электрических машин зависит от размещения ВЭУ. Так, на суше сегодня доминирует топология GB-DFIG, на её долю приходится более 70% мирового рынка. Топология DD-PMSG удвоила свою долю за 10 лет, заняв в 2020 г. около 20% рынка, при этом на шельфе она доминирует с долей около 60% мирового рынка [10]. Такую закономерность можно объяснить

⁶ Fully rated converters (преобразователь частоты полного диапазона).

⁷ Gearbox double-fed induction generator (GB-DFIG), gearbox permanent-magnet synchronous generator (GB-PMSG), direct-drive permanent-magnet synchronous generator (DD-PMSG), direct-drive electrically excited synchronous generator (DD-EESG).

тем, что для шельфовых ВЭУ требуются более мощные турбины с высоким КПД. При этом очевидное преимущество конфигурации DD-PMSG проявляется в более низкой стоимости технического обслуживания. Главные недостатки такой архитектуры — высокая стоимость синхронного генератора с постоянными неодимовыми магнитами и использование большого количества меди в подводных коллекторах и кабелях, связывающих ВЭУ с трансформаторными и преобразовательными (если присутствует передача постоянного тока) подстанциями [11]. Однако преимущества конфигурации GB-PMSG позволяют делать прогнозы, согласно которым ВЭУ с такой архитектурой увеличат долю на рынке ВЭС до 95% на шельфе и до 40% на суше к 2040 г. В таком случае спрос на неодим и празеодим может увеличиться более чем в 3 раза [7, 10].

Вместе с тем растущий спрос на ключевые редкоземельные элементы (неодим, празеодим, диспрозий и тербий) со стороны таких высокотехнологичных областей промышленности, как производство цифровой и бытовой электроники, роботизированного технологического оборудования и автомобилестроение, в сочетании с ускоряющимся ростом цен и стремительно меняющейся геополитической конъюнктурой, вероятно, вынудят инвесторов выбирать альтернативные конфигурации ВЭУ [2, 10, 12, 13]. Например, в новых проектах строительства ВЭС на шельфе может использоваться архитектура GB-PMSG, а на суше — DD-EESG с меньшим количеством постоянных неодимовых магнитов.

Постоянные неодимовые магниты. В 1980-х годах корпорациями Джeneral Моторс (США) и Сумитомо Специал Металс (Япония) независимо друг от друга было получено соединение неодим-железо-бор ($\text{Nd}_2\text{-Fe}_{14}\text{-B}$), магнитная индукция которого сегодня превышает 1.4 тесла (для сравнения: ферриты — 0.5, альнико — 0.7, самарий-кобальтовые магниты — 1 тесла). Благодаря этому свойству неодимовый магнит может удерживать массу в 1300 раз превышающую его собственную [14]. В результате сегодня доля рынка постоянных неодимовых магнитов составляет около 95%, значительно расширяется их технологическое присутствие в электронике, автомобильной промышленности, ветроэнергетике. Поскольку электрические машины, изготовленные на основе неодимовых магнитов, значительно меньше и легче, они более эффективны по энергопотреблению.

Существуют два способа производства постоянных неодимовых магнитов: первый, наиболее распространённый, — спекание методом классической порошковой металлургии, второй, используемый реже, — формирование магнита на основе быстрого отверждения полимера с помо-

щью прессования или литья под давлением. Полученные заготовки подвергаются термообработке, формовке и намагничиванию. Кроме того, мировой опыт показывает, что сегодня разработка и производство новых типов высококачественных сплавов, в том числе магнитных, часто определяются требованиями заказчика, то есть появляется тенденция к индивидуализации производства [14–16].

В зависимости от различных условий эксплуатации неодимовые магниты защищают от коррозии с помощью дополнительных покрытий из никеля, цинка, олова, золота или эпоксидной смолы. Чистое соединение Nd-Fe-B начинает терять свою магнитную силу уже при нагреве чуть выше 80°C , поэтому в него добавляют диспрозий (до 5%), который значительно увеличивает предел рабочей температуры (существуют неодимовые магниты, используемые при температурах около 200°C). Однако одновременно с увеличением предела рабочей температуры диспрозий снижает намагниченность соединения. В этом плане легирование тербием было бы предпочтительным, поскольку он оказывает более существенное влияние на коэрцитивную силу с меньшим ухудшением намагниченности, но объёмы производства тербия значительно ниже диспрозия [14–16].

В современной автомобильной промышленности для производства гибридных электромобилей требуются бесщёточные электродвигатели постоянного тока с постоянными неодимовыми магнитами (PMDC⁸). Для такого типа двигателей используют высокоэффективные магниты следующего состава: $\text{Nd}_{31\%}\text{-Dy}_{4.5\%}\text{-Co}_{2\%}\text{-Fe}_{61.5\%}\text{-B}_1\%$ (где индекс — процент по массе в соединении). Для двигателя мощностью 55 кВт требуется порядка 0.65 кг сплава Nd-Dy-Co-Fe-B , что соответствует 200 г неодима (3.6 г/кВт) и 30 г диспрозия (0.55 г/кВт) на двигатель [2, 10, 14, 17].

Ветряные турбины с прямым приводом (GB-PMSG) содержат 700–1200 кг постоянных неодимовых магнитов на 1 МВт, что соответствует 175–420 кг чистого неодима на 1 МВт. При этом в соединениях таких магнитов не присутствует диспрозий (в отличие от генераторов электромобилей), поскольку температуры в ветряной турбине не поднимаются высоко, а для охлаждения достаточно нагоняемого воздуха [7, 10, 14, 17].

Следует отметить, что новым быстро растущим рынком для постоянных неодимовых магнитов становятся индивидуальные средства мобильности: электрические самокаты и велосипеды. Для них необходимы лёгкие и компактные электродвигатели, требующие небольшого объёма магнитного материала — порядка 350 или 86 г неодима на каждое устройство [14]. Однако ги-

⁸ Permanent magnet direct current.

Таблица 1. Производство электроэнергии по странам за 2020 г. (первый столбец), рост (второй столбец) и совокупный среднегодовой темп роста (третий столбец) за период 2010–2020 гг.

Страна	Общее производство электроэнергии			Возобновляемые источники энергии			Ветроэнергетика			Солнечная энергетика		
	2020	2010–2020		2020	2010–2020		2020	2010–2020		2020	2010–2020	
	ТВт·ч	ТВт·ч	%	ТВт·ч	ТВт·ч	%	ТВт·ч	ТВт·ч	%	ТВт·ч	ТВт·ч	%
Китай	7787	3551	5.7	2222	1431	9.8	471	426	23.8	270	269	66.4
Индия	1609	637	4.7	360	200	7.7	68	48	11.8	64	63.9	79.9
Япония	1003	–161	–1.3	234	119	6.7	8	4	6.5	79	75	31.2
США	4243	–111	–0.6	842	390	4.4	340	245	10.0	117	114	18.0
ЕС	2757	–200	–0.6	1082	410	4.4	398	258	10.0	142	119	18.0
Бразилия	605	89	1.5	515	78	1.5	57	55	35.6	8	8	48.9
Россия	1057	21	0.2	195	25	1.3	1	1	81.7*	2	2	92.2**
Всего	26762	5244	2.0	7593	3342	5.4	1595	1253	15.0	833	801	34.5

* За период 2015–2020 гг.

** За период 2014–2020 гг.

гантский спрос на электросамокаты и велосипеды спровоцировал рождение большого количества компаний-производителей и, соответственно, возросшую потребность в неодимовых магнитах.

По разным оценкам, производство постоянных неодимовых магнитов сегодня составляет 60–80 тыс. т, причём более 90% выпуска магнитных сплавов сосредоточено в Китае [2, 17–20]. В то же время рост потребления неодимовых магнитов прогнозируется на уровень 7–10% ежегодно, в результате спрос может приблизиться к отметке 200 тыс. т к 2040 г. [14, 17, 20, 21]. Поскольку такой рост потребления, вероятно, не будет удовлетворён производителями, ожидается дефицит и повышение цен на часть РЗМ, например, на неодим, диспрозий и празеодим. В этой связи в развитых странах ведутся исследования и поиск новых технологий, направленных на уменьшение и замещение дорогостоящих РЗМ, переработку производственных и потребительских отходов. Кроме того, идёт поиск технологий производства магнитных материалов, для которых вообще не требуются редкоземельные металлы, например, из сплавов железа и никеля (тетратаенит) и других соединений [22, 23].

Ветроэнергетика России. За период 2010–2020 гг. среднегодовой темп роста⁹ выработки электроэнергии в мире составил 2%, возобновляемых источников энергии – 5.4%, ветроэнергетика показала рост 15%, солнечная энергетика – 34.5%. Эти показатели свидетельствуют о том, что измене-

ния в структуре глобальной энергетической системы происходят главным образом за счёт ускоренного развития ветро- и солнечной энергетики. Так, в 2010 г. производство электроэнергии этими отраслями составляло 342 ТВт·ч и 32 ТВт·ч соответственно, а в 2020 г. – 1595 ТВт·ч и 833 ТВт·ч (табл. 1).

Отдельного внимания заслуживает китайская энергетическая программа, благодаря которой производство электроэнергии в этой стране выросло с 2010 г. по 2020 г. почти в 2 раза (с помощью ветра – в 10 раз, солнца – в 270 раз). Также можно отметить значительный рост выработки электроэнергии в Индии, в том числе за счёт возобновляемых источников энергии (см. табл. 1).

В России среднегодовой темп роста производства электроэнергии существенно ниже мировых, а ветро- и солнечная энергетика достигли показателей только 1 ТВт·ч и 2 ТВт·ч в 2019–2020 гг. Как упоминалось, Россия обладает колоссальным потенциалом развития этих отраслей. Территория страны составляет 17.1 млн км², что немного меньше целого континента – Южной Америки (17.8 млн км²), площадь континентального шельфа – более 6 млн км². Кроме того, страна хорошо обеспечена необходимыми минерально-сырьевыми запасами [24]. Однако после распада СССР цепочки производства полного цикла были разрушены, поэтому многие виды товаров для высокотехнологичной промышленности Россия последние три десятилетия вынуждена импортировать, в том числе для производства ветроэнергетических установок. Во многих отраслях утрачен интеллектуальный потенциал в лице спе-

⁹ Здесь и далее приводятся совокупные среднегодовые темпы роста.

циалистов, прошедших научную и производственную школы, утеряны технологии, специализированное оборудование и возможности их эффективного создания. Однако несмотря на эти негативные процессы, за последние два десятилетия в России появились предприятия, освоившие технологии производства солнечных панелей и ВЭУ. Сегодня российские солнечные панели¹⁰ составляют серьёзную конкуренцию мировым брендам, в том числе американским, европейским и китайским, поскольку они существенно превосходят их по ряду технических и эксплуатационных параметров при более низкой цене. В результате ряд отечественных производителей солнечных панелей экспортирует свою продукцию в страны Еврозоны и Азиатско-Тихоокеанского региона.

Первая крупная ВЭС с генераторами от 2.5 МВт появилась в России только в 2017 г. (не считая Останинской ВЭС в Республике Крым, эксплуатация которой началась в 2014 г.) — Ульяновская ВЭС-1 (Ульяновская область) с номинальной мощностью 35 МВт. К концу 2021 г. в стране введена в эксплуатацию ещё 21 ВЭС с общей номинальной мощностью 1.9 ГВт (табл. 2). 94% установленных мощностей в России в настоящее время принадлежат всего трём инвесторам: Фонд развития ветроэнергетики¹¹ (54.4%, 280 ВЭУ), АО “НоваВинд”¹² (35.2%, 288 ВЭУ) и ПАО “Энел Россия”¹³ (4.4%, 26 ВЭУ) [25].

Впечатляющие показатели объёмов ввода генерации на основе ВЭУ стали возможными благодаря механизму поддержки на оптовом рынке электроэнергии и мощности России [26, 27]. В рамках этой поддержки проводятся конкурсные отборы проектов ВИЭ, и с инвесторами-победителями заключаются договоры о предоставлении мощности квалифицированных генерирующих объектов, функционирующих на основе

использования возобновляемых источников энергии. Согласно программе, предполагаемый объём конкурентного отбора мощности составит примерно 3.4 ГВт к 2024 г. (табл. 3). Уже формируются параметры программы поддержки ветроэнергетики на период 2025–2035 гг., согласно которой конкурсный отбор мощности составит порядка 43.8 ГВт [28].

На наш взгляд, существует большая вероятность того, что базовыми компаниями, формирующими предложение в конкурентный отбор мощности по средствам ВЭС, останутся ФВР, АО “НоваВинд” и ПАО “Энел Россия”, поскольку эти участники рынка смогли локализовать производство многих основных элементов ВЭУ в России: лопастей, гондол, ступиц, башен, композитных материалов, мощных генераторов от 2.5 МВт, трансформаторов, конвертеров и других компонентов и систем. Немаловажную роль в этом процессе сыграл первый государственный нормативный документ — Распоряжение Правительства РФ от 24.10.2020 № 2749-р “О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р”, который регламентирует правила рынка и нормы локализации [29]. В результате на российском ветроэнергетическом рынке будет представлен модельный ряд, перечисленный в таблице 4. Распределение по количеству введённых в эксплуатацию установок к 2024 г. (к 2027 г.) ожидается следующим: Vestas V126 — 43% (50%), LP2 L100-2.5 — 47% (43%) и SGRE G3.4-132 — 10% (7%) [25, 28]. Следовательно на российском рынке будут применяться всего две топологии генераторов: асинхронные двойного питания с коробкой передач (GB-DFIG) и синхронные с постоянными магнитами без коробки передач (DD-PMSG).

Сегодня в мире около 70% действующих наземных ВЭУ соответствуют топологии GB-DFIG и только 20% — DD-PMSG. На шельфе иная картина: более 90% — PMSG, из которых более 75% с прямым приводом, и около 10% — GB-DFIG [8–10]. Как упоминалось выше, выбор в пользу топологии PMSG на шельфе связан с более эффективной работой и низкими затратами на техническое обслуживание, несмотря на высокую стоимость производства. Существует большая вероятность того, что в будущем доля ВЭУ с топологией PMSG будет расти как на суше, так и на шельфе, полностью вытеснив топологию DFIG с морей.

Однако генераторам с топологией PMSG необходимы постоянные магниты на основе соединения неодим-железо-бор ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$), в которое могут входить другие редкоземельные металлы для производства сплавов с определяемыми техническими свойствами, например, празеодим, диспрозий или тербий. Особенно остро этот вопрос стоит для турбин с прямым приводом (без

¹⁰Производство солнечных батарей в России налажено в НПП “Квант” (Москва), ЗАО “Телеком-СТВ” (Зеленоград), ООО “Хевел” (Новочебоксарск), АО “РЗМКП” (Рязань), завод “Сатурн”, ООО “Юнисолэкс” (Краснодар) и др.

¹¹Фонд развития ветроэнергетики создан на паритетной основе АО “Роснано” и ПАО “Фортум” в целях инвестирования в строительство ветропарков и запуска ветроэнергетических проектов. Управляет фондом ООО УК “Ветроэнергетика”.

¹²АО “НоваВинд” — дивизион ГК “Росатом”, основная задача которого консолидировать усилия госкорпорации в передовых сегментах и технологических платформах ветроэнергетики, в том числе ветроэнергетике. Совместное предприятие компании АО “НоваВинд” и голландского технологического партнёра Lagerwey Systems B.V. (дочерняя компания немецкого ветроэнергетического гиганта Enercon GmbH) — Red Wind B.V. локализовало производство ВЭУ в России на основе турбин, разработанных Lagerwey Systems B.V.

¹³ПАО “Энел Россия” — генерирующая компания, обеспечивающая электро- и теплоснабжение промышленных предприятий и бытовых потребителей.

Таблица 2. ВЭС (с ВЭУ от 2.5 МВт), эксплуатируемые в России, на конец 2021 г. (без Останинской ВЭС)

Название	Мощность ВЭС, МВт	Кол-во ВЭУ, шт.	Модель (марка/мощность, МВт)		Собственник	Расположение
Сулинская ВЭС	98.8	26	VESTAS V-126 – H87	3.8	ФРВ	Ростовская область
Каменская	98.8	26	VESTAS V-126 – H87	3.8	ФРВ	Ростовская область
Гуковская ВЭС	98.8	26	VESTAS V-126 – H87	3.8	ФРВ	Ростовская область
Казачья ВЭС-1	50.4	12	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Ростовская область
Казачья ВЭС-2	50.4	12	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Ростовская область
Азовская ВЭС	90.1	26	SG 3.4-132	3.5	ПАО “Энел Россия”	Ростовская область
Марченковская ВЭС	120	48	LP2 L100-2.5	2.5	АО “НоваВинд”	Ростовская область
Целинская ВЭС	100.8	24	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Республика Калмыкия
Салынская ВЭС	100.8	24	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Республика Калмыкия
Ульяновская ВЭС-1	35	14	LP2 L100-2.5	2.5	ФРВ	Ульяновская область
Ульяновская ВЭС-2	50.4	14	VESTAS V-126 – H87	3.6	ФРВ	Ульяновская область
Кочубеевская ВЭС	210	84	LP2 L100-2.5	2.5	АО “НоваВинд”	Ставропольский край
Кармалиновская ВЭС	60	24	LP2 L100-2.5	2.5	АО “НоваВинд”	Ставропольский край
Бондаревская ВЭС	120	48	LP2 L100-2.5	2.5	АО “НоваВинд”	Ставропольский край
Медвеженская ВЭС	60	24	LP2 L100-2.5	2.5	АО “НоваВинд”	Ставропольский край
Адыгейская ВЭС	150	60	LP2 L100-2.5	2.5	АО “НоваВинд”	Республика Адыгея
Холмская ВЭС	88.2	21	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Астраханская область
Излучная ВЭС	88.2	21	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Астраханская область
Манланская ВЭС	75.6	18	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Астраханская область
Черноярская ВЭС	37.8	9	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Астраханская область
Старицкая ВЭС	50.4	12	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Астраханская область
Котовская ВЭС	88.2	21	VESTAS V-126 – H87	4.2	ФРВ	Волгоградская область
Другие	120.7	768				
Итого	2043.4	1362				

Источник: составлено на основе [25].

Таблица 3. Установленная мощность объектов ВИЭ, отобранных по результатам КОМ ВЭС за период 2014–2020 гг., МВт

Компания	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Итого
ФРВ	—	—	35	—	50	298.8	250	476.8	250	497.7	—	1858.3
НоваВинд	—	—	—	—	150	210	300	60	280	35	157.5	1192.5
Энел Россия	—	—	—	—	—	—	90.09	—	200.97	—	71.25	362.31
Прочие	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	15
План	—	51	50	200	400	500	500	500	500	500	214.7	3415.7
Факт	—	—	35	15	200	508.8	640.09	536.8	730.97	532.7	228.75	3428.11

Таблица 4. Модельный ряд ВЭУ мощностью от 2.5 МВт, установленных в России на конец 2021 г.

Модель	Производитель	Установленная мощность, МВт	Тип топологии
Vestas V126	ООО “Вестас Рус”	3.6/3.8/4.2	GB-DFIG
LP2 L100-2.5	АО “НоваВинд”	2.5	DD-PMSG
SGRE G3.4-132	ООО “Сименс Гамеса Рэньюэбл Энерджи”	3.4	GB-DFIG

коробки передач), поскольку для их выпуска необходимо в среднем по миру порядка 240 кг/МВт РЗМ (неодим — 75%, празеодим — 14%, диспрозий — 7% и тербий — около 4%). В то же время для турбин с топологией GB-PMSG требуется всего около 60 кг/МВт, а для топологии GB-DFIG — менее 15 кг/МВт [10]. Например, для ветрогенератора LP2 L100-2.5 нужно порядка 8.3 тыс. постоянных неодимовых магнитов общим весом около 3.3 т. Это означает, что потребность компании АО “НоваВинд” в магнитах данного типа в 2022–2024 гг. составит порядка 600–700 т и примерно столько же в 2025–2027 гг. ООО “Вестас Рус” и ООО “Сименс Гамеса Рэньюэбл Энерджи” к 2027 г. потребуется не более 50 т магнитов для производства электрических машин. При этом в России лишь небольшое количество компаний обладают необходимыми компетенциями и технологическим оборудованием для производства постоянных неодимовых магнитов (по нашим оценкам, объём производства составляет не более 200 т в год). Основная проблема заключается в том, что страна не располагает полной цепочкой производства редкоземельной продукции, поэтому всё сырьё для производства магнитов импортируется. В результате российские высокотехнологичные предприятия, а также предприятия ТЭК и военно-промышленного комплекса зависят от импорта редкоземельного сырья (в основном из Китая).

Такая ситуация в российской промышленности вынуждает крупные государственные компании, обладающие необходимыми научно-техно-

логическими компетенциями, поэтапно локализовать производство постоянных магнитов (неодимовых, самарий-кобальтовых и иных) для ключевых потребителей. Так, в рамках контракта между компаниями ООО “Элемаш Магнит”¹⁴ и Red Wind B.V. планируется создать производство постоянных магнитов полного цикла. Холдинг “Росэлектроника”, входящий в структуру ГК “Ростех”, также обладает необходимыми компетенциями для производства редкоземельных магнитов на базе АО “Спецмагнит” и АО НПП “Исток” им. А.И. Шокина.

Согласно разным оценкам, спрос на редкоземельные металлы в мире к 2030 г. достигнет 277–297 тыс., к 2040 г. — 373.2–443.7 тыс. т, на магнитные материалы — 96.3–106.2 тыс. т и 128.8–164.1 тыс. т соответственно [10, 17, 20]. При этом спрос на магнитные материалы для ВИЭ составит 17–32% (для генераторов ВЭУ — порядка 6–11%) общего объёма в зависимости от сценария развития высокотехнологичных отраслей промышленности и энергетики (табл. 5).

Россия на протяжении нескольких десятилетий ежегодно импортирует порядка 2–3 тыс. т редкоземельной продукции для производства катализаторов, магнитов, электроники, оптики, керамики и других товаров с высокой добавленной стоимостью. Если развитие ветроэнергетики бу-

¹⁴Дочернее предприятие ПАО “Ковровский механический завод”, входящее в компанию “ТВЭЛ” ГК “Росатом”; специализируется на изготовлении наукоёмкой и технически сложной продукции.

Таблица 5. Прогноз спроса на РЗМ и магнитные материалы до 2040 г., тыс. т

Мировой спрос на РЗМ	2020	2030	2040
Общий объём	190.2–198.7	277–297	373.2–443.7
в том числе на магнитные материалы	63.8–66.1	96.3–106.2	128.8–164.1
в том числе для ВИЭ	6.4	18.9–34.2	21.8–46.6
неодим	5.0	14.8–26.9	17.1–36.7
другие РЗМ	1.4	4.1–7.3	4.7–9.9
в том числе для ВЭС	4.1	8.1–11.2	8.1–12
неодим	3.1	6.1–8.5	6.1–9
другие РЗМ	1	2–2.7	2–3

дет проходить в рамках упоминавшихся программ, то ежегодно потребуется не более 100 т РЗМ для производства постоянных неодимовых магнитов – весьма скромный показатель по сравнению с общемировыми потребностями.

Повышенный спрос на редкоземельные материалы со стороны высокотехнологичных производств, вероятно, будет приводить к конкуренции и, как следствие, дефициту некоторых РЗМ. При этом на месторождениях добытая руда полностью перерабатывается на первых этапах обогащения в концентрат без остатков и не селективно. Такое “естественное связывание” приводит к избыточному предложению части РЗМ. В результате на дефицитные РЗМ цены будут расти, а на избыточные – падать, к тому же ограничиваются возможности инвестирования в новые редкоземельные источники сырья с низкой стоимостью “корзины” добываемых элементов [30].

Важно отметить, что товарный рынок редкоземельных металлов – один из самых молодых в мире, который растёт впечатляющими темпами по сравнению с другими рынками на базовые металлы (никель, медь, железо, золото и др.). По мере развития научно-технологического прогресса раскрывается потенциал РЗМ, появляется новая продукция, позволяющая диверсифицировать потребление редкоземельных металлов. Например, одной из прорывных технологий будущего может стать использование ветроэнергетических установок с высокотемпературными сверхпроводниками, которые позволят значительно увеличить мощность ВЭУ, снизив при этом их массу и стоимость. В настоящее время технология проходит этап прототипирования, исследований и разработок. Несмотря на высокий потенциал, ВЭУ с высокотемпературными сверхпроводниками – гипотетический продукт следующих десятилетий.

Темпы развития отечественной ветро- и солнечной генерации электроэнергии в последние

годы возрастают. Если они сохранятся, то будут происходить существенные изменения в структуре энергетической системы России. Им надо придать плавную траекторию, чтобы все участники цепочек производства и рынка могли адаптироваться к новым условиям. При этом нельзя забывать про традиционные источники генерации, поскольку необходимо модернизировать устаревшее оборудование на ТЭС, ГЭС, АЭС, увеличивать пропускную способность электрических сетей, а вследствие увеличения доли ВИЭ в структуре энергобаланса повышать устойчивость и надёжность энергосистемы.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН, проект 5.6.3.2 (0260-2021-0004) “Ресурсные территории Востока России и Арктической зоны: особенности процессов взаимодействия и обеспечения взаимосвязанности региональных экономик в условиях современных научно-технологических и социальных вызовов”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданев О.В., Зуев С.С. Вызовы для энергосектора России до 2035 года // Энергетическая политика. 2020. № 3. С. 12–23. https://doi.org/10.46920/2409-5516_2020_3145_12
2. Крюков В.А., Яценко В.А., Крюков Я.В. Редкоземельная промышленность – реализовать имеющиеся возможности // Горная промышленность. 2020. № 5. С. 68–84. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-5-68-84>
3. Жданев О.В., Бравков П.В., Дурдыева А.А. и др. Вопросы технической политики отраслей ТЭК России / Под ред. О.В. Жданева. М.: Наука, 2020.
4. World Energy Outlook 2021 // International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (дата обращения 11.01.2023).
5. Таровик В.И., Вальдман Н.А., Труб М.С., Озерова Л.Л. Развитие морских электростанций, использующих возобновляемые источники энергии // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2. С. 34–47.

6. Шельфовые возобновляемые источники энергии для “синей экономики” // International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Offshore_Renewables_2020_RU.pdf (дата обращения 22.02.2022).
7. *Elia A. et al.* Wind turbine cost reduction: A detailed bottom-up analysis of innovation drivers // *Energy Policy*. 2020. V. 147. P. 111912. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111912>
8. Review of Power Converters for Wind Energy Systems. https://www.researchgate.net/publication/274305497_Review_of_Power_Converters_for_Wind_Energy_Systems (дата обращения 15.02.2022).
9. *Крыльцов С.Б., Пудкова Т.В.* Обзор современных топологий силовой части ветрогенераторов большой мощности // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 12. С. 124–129. <https://web.snauka.ru/issues/2016/12/75301> (дата обращения 22.06.2022)
10. The role of critical minerals in clean energy transitions [Electronic resource] // International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (дата обращения 11.04.2022).
11. *Белей В.Ф., Задорожный А.О.* Ветроэнергетика России: анализ состояния и перспективы развития // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 7. С. 19–29. <http://ras.jes.su/energy/s207987840000538-0-1> (дата обращения 30.06.2022). <https://doi.org/10.31857/S023336190001293-8>
12. *Яценко В.А., Самсонов Н.Ю., Крюков Я.В.* Опционный подход к экономической оценке проектов разработки редкоземельных месторождений // Мир экономики и управления. 2018. № 4. С. 69–84. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2018-18-4-69-84>
13. Electric Vehicle Market by Vehicle (Passenger Cars & Commercial Vehicles), Vehicle Class (Mid-priced & Luxury), Propulsion (BEV, PHEV & FCEV), EV Sales (OEMs/Models) Charging Station (Normal & Super) & Region – Global Forecast to 2030 // MarketsandMarkets Research Private Ltd. <https://www.marketsandmarkets.com/MarketsandMarkets-v3719/Electric-Vehicle-Passenger-Cars-Commercial-12500583/> (дата обращения 12.05.2023).
14. *Binnemans K., Jones P.T., Müller T. et al.* Rare Earths and the Balance Problem: How to Deal with Changing Markets? // *J. Sustain. Metall.* 2018. № 4. P. 126–146. <https://doi.org/10.1007/s40831-018-0162-8>
15. *Менушенков В.П.* Структурные превращения и коэрцитивная сила в сплавах для постоянных магнитов. Ч. 2. Спечённые сплавы на основе Sm-Co и Nd-Fe-B // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № S1. С. 163–178.
16. *Король В.И., Ланкин И.М., Ланкин М.В.* Обзор российских производителей постоянных магнитов из магнитотвёрдых материалов // Вестник молодёжной науки России. 2020. № 5. С. 12.
17. *Alonso E. et al.* Evaluating Rare Earth Element Availability: A Case with Revolutionary Demand from Clean Technologies 2012. <https://doi.org/10.1021/es203518d>
18. Achieving American Leadership in the Rare Earth Magnets Supply Chain // The U.S. Department of Energy (DOE). <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/Neodymium%20Magnets%20Supply%20Chain%20Fact%20Sheet%20Final.pdf> (дата обращения 12.03.2023).
19. Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action // The European Institute of Innovation & Technology (EIT). https://eit.europa.eu/sites/default/files/2021_09-24_ree_cluster_report2.pdf (дата обращения 04.02.2023).
20. *Яценко В.А., Лебедева М.Е.* Прогноз динамики спроса на мировом рынке редкоземельных металлов // Мир экономики и управления. 2021. № 4. С. 124–145. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2021-21-4-124-145>
21. Supply and Demand // Arafura Resources. <https://www.arultd.com/products/supply-and-demand.html> (дата обращения 12.05.2023).
22. *Ivanov Y.P. et al.* Direct Formation of Hard-Magnetic Tetrataenite in Bulk Alloy Castings // *Adv. Sci.* John Wiley & Sons, Ltd. 2023. V. 10. № 1. P. 2204315.
23. *Perlepe P. et al.* Metal-organic magnets with large coercivity and ordering temperatures up to 242°C // *Science*. 2020. V. 370. P. 587–592.
24. Государственный доклад “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году”. http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovani_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii_gosudarstvennyy_doklad_o_sostyanii_i_ispolzovani_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii (дата обращения 21.02.2022).
25. Ветроэнергетика // Российская Ассоциация Ветроиндустрии. <https://rawi.ru/windpower> (дата обращения 05.02.2022).
26. Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии. Распоряжение Правительства РФ от 8 января 2009 г. № 1-п. <http://government.ru/docs/20503> (дата обращения 15.03.2022).
27. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. № 449 “О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности”. <https://base.garant.ru/70388616> (дата обращения 15.03.2022).
28. *Каланов А.Б.* Программа поддержки ВИЭ на период 2025–2035 гг. // Российский союз промышленников и предпринимателей. Презентация. <http://media.rspp.ru/document/1/2/5/2502ae1262d70e4e020677e29ad60c23.pdf> (дата обращения 19.03.2022).
29. Распоряжение Правительства РФ от 24.10.2020 № 2749-р “О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-п”. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_366158 (дата обращения 15.03.2022).
30. *Binnemans K., Jones P.T.* Rare Earths and the Balance Problem // *Journal Sustainable Metallurgy*. 2015. № 1. P. 29–38. <https://doi.org/10.1007/s40831-014-0005-1>

ДИНОЗАВРЫ РОССИИ: ЗАВРОПОДЫ (SAUROPODOMORPHA)

© 2023 г. А. О. Аверьянов^{a,*}, А. В. Лопатин^{b,**}

^aЗоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

^bПалеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия

*E-mail: dzharakuduk@mail.ru

**E-mail: alop@paleo.ru

Поступила в редакцию 26.03.2023 г.

После доработки 30.03.2023 г.

Принята к публикации 10.04.2023 г.

На территории России остатки завропод найдены в отложениях средней юры Западной Сибири (Mamenchisauridae), нижнего мела Поволжья (*Volgatitan simbirskiensis*), Забайкалья (*Tengrisaurus star-kovi*) и Западной Сибири (*Sibirotitan astrosacralis*) и верхнего мела Дальнего Востока (Opisthocoelicaudidae). Большинство находок из нижнего мела принадлежат титанозаврам (Lithostrotia). Нижнемеловые отложения Западной Сибири наиболее перспективны для поиска сочленённых остатков завропод.

Ключевые слова: динозавры, завроподоморфы, завроподы, мезозой, юра, мел, Россия.

DOI: 10.31857/S086958732305002X, **EDN:** VVKAUW

Завроподы — очень крупные и гигантские (длиной приблизительно до 40 м и весом до 100 т) растительноядные динозавры характерного облика: массивные, четвероногие (квадрупедальные), длинношеие, с относительно маленькой головой и длинным хвостом. В совокупности с древними

группами “прозавропод”¹, включающими более мелкие (от 1.5 м) двуногие (бипедальные) формы наподобие платеоазавров, они формируют большую и довольно разнообразную группу завроподоморфов.

Завроподоморфы (Sauropodomorpha) — одна из трёх основных групп динозавров. Вместе с хищными динозаврами (Theropoda) они образуют группу ящеротазовых динозавров (Saurischia). Завроподоморфы происходят от теропод, самые базальные их представители (например, *Eoraptor lunensis* Sereno et al., 1993 из позднего триаса Аргентины [1]) морфологически близки к хищным динозаврам, в частности, по строению зубной системы. Первые признаки специализации зубной системы к питанию растительной пищей среди завроподоморфов отмечены у *Buriolestes schultzi* Cabreira et al., 2016 из позднего триаса Бразилии [2]. Дальнейшая эволюция этих динозавров связана с совершенствованием растительноядной специализации, увеличением размеров тела, становлением квадрупедальной локомоции и удли-



АВЕРЬЯНОВ Александр Олегович — доктор биологических наук, главный научный сотрудник ЗИН РАН.
ЛОПАТИН Алексей Владимирович — академик РАН, директор ПИН РАН.

¹ Здесь и далее в кавычках указываются традиционные (узнаваемые) названия парафилетических групп, которые нельзя употреблять в значении таксона.

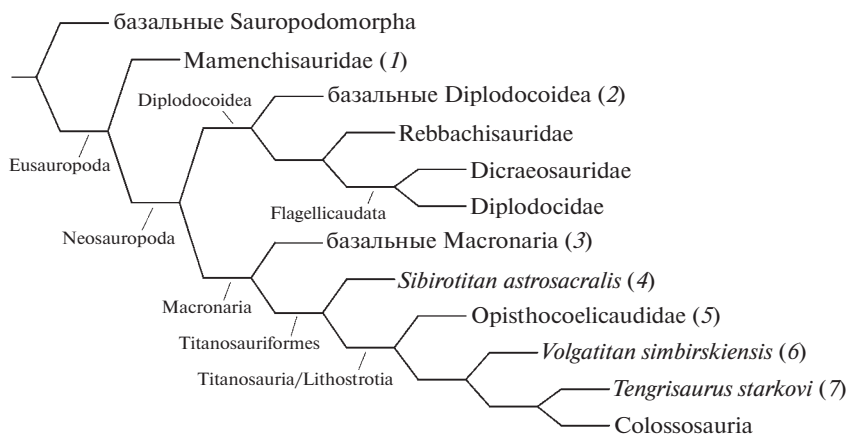


Рис. 1. Кладограмма Sauropodomorpha, показывающая филогенетическое положение завропод России

Местонахождения: 1 – Берёзовский карьер, Красноярский край; 2 – Пески, Московская область; 3 – Тээтэ, Якутия; 4 – Шестаково 1, Кемеровская область; 5 – Благовещенск, Амурская область; 6 – Сланцевый рудник, Волгоградская область; 7 – Могойто, Бурятия

нением шеи [3, 4]. Завроподоморфы представляли доминантную группу растительноядных динозавров в позднем триасе – ранней юре и играли заметную роль в экосистемах средней – поздней юры и раннего мела. В позднем мелу их разнообразие существенно сократилось на северных материках в связи с конкуренцией с растительноядными птицетазовыми динозаврами, но в Гондване они доминировали среди растительноядных динозавров до конца мелового периода.

Завроподоморфы базальной радиации² (“прозавроподы”) в позднем триасе – ранней юре были распространены на всех континентах, включая Антарктиду [5], что отражает единство фауны тетрапод Пангеи – суперконтинента, существовавшего в позднем палеозое и раннем мезозое. Первым описанным завроподоморфом (и вообще одним из первых известных науке динозавров) стал “прозавропод” *Thecodontosaurus antiquus* Riley et Stutchbury, 1836 из позднего триаса Англии [6]. В отечественной литературе начала XX в. можно встретить сообщения о находках изолированных костей текодонтосавра в нижне-среднетриасовых отложениях Европейской России и бассейна р. Урал (см. обзор в [7, 8]). Все эти находки в действительности относятся к базальным архозавроморфам (“текодонтам”). На территории России нет континентальных отложений верхнего триаса – нижней юры с остатками наземных позвоночных, где могли бы быть встречены “прозавроподы”. Но, несомненно, в то время они обитали на территории нашей страны, поскольку их распространение было космополитным.

Наиболее древние остатки завропод в России известны из отложений среднеюрской итатской свиты в Красноярском крае (местонахождение Берёзовский карьер) [9]. Они принадлежат к эндемичной кладе³ азиатских завропод *Mamenchisauridae* (рис. 1), которые раньше были найдены только в Китае и Таиланде. Маменчизавриды (иначе – мамэньсизавриды) относятся к кладе эузавропод (*Eusauropoda*), у представителей которой было не менее 13 опистоцельных (задневогнутых) шейных позвонков. Маменчизавриды отличаются необыкновенно длинной шеей, состоящей из 19 позвонков [10]. Находки из Берёзовского карьера представлены изолированными зубами и хвостовыми позвонками (рис. 2).

Клада неозавропод (*Neosauropoda*), объединяющая всех более продвинутых завропод (см. рис. 1), разделяется на две большие ветви – диплодокоидов (*Diplodocoidea*) и макронарий (*Macronaria*). Диплодокоиды известны преимущественно из верхнеюрских и нижнемеловых отложений Северной и Южной Америки, Европы и Африки [11]. Однако древнейший представитель семейства *Dicraeosauridae* (*Lingwulong shenqi* Xu et al., 2018) происходит из отложений верхов нижней – низов средней юры Китая [12], что свидетельствует об азиатском происхождении *Diplodocoidea* и, вероятно, всей клады *Neosauropoda*. К неопределимым *Diplodocoidea* относятся хвостовые позвонки из морских отложений среднеюрской московской свиты местонахождения Пески Московской области [13] (см. рис. 1). Этот завропод – единственное свидетельство мезозойской фауны наземных позвоночных обширного субконтинента Фенноскандии, где не сохранились

² Первые представители группы и их потомки, неблизкородственные продвинутым представителям – завроподам.

³ Клада – группа организмов, содержащая предка и всех его прямых потомков.



Рис. 2. Хвостовой позвонок *Mamenchisauridae* indet., Берёзовский карьер (Красноярский край), итатская свита, средняя юра (бат)
 а – вид спереди; б – сзади; в – сверху; г – сбоку; д – снизу; масштабный отрезок – 2 см

континентальные мезозойские отложения. Завропод из Песков, видимо, проник в Фенноскандию при расселении по Европе базальных *Diplodocoidea* из Азии в средней юре. В дальнейшем диплодокоиды были вытеснены из Азии более эволюционно продвинутыми завроподами из клалды *Macronaria*. Из отложений верхнего мела Азии известна всего лишь одна находка представителя семейства *Rebbachisauridae* [14], который, очевидно, проник на запад Азии из Европы.

Базальному представителю клалды *Macronaria* принадлежат изолированные зубы из нижнемеловой батылхской свиты приполярного местонахождения Тээтэ в Якутии [15] (см. рис. 1, 3). Эти зубы – самые северные находки завропод. Один зуб принадлежит молодому животному, что служит первым доказательством размножения завропод в высоких широтах.

Для представителей клалды титанозавриформов (*Titanosauriformes*) характерно облегчение скелета путём развития губчатой костной ткани в предкрестцовых позвонках и отверстий пневматизации⁴ на рёбрах. К базальным *Titanosauriformes* относится *Sibirotitan astrosacralis* Averianov et al., 2018 из нижнемеловых отложений местонахождения Шестаково 1 в Кемеровской области

⁴ Пневматизация – образование заполненных воздухом полостей в костях.

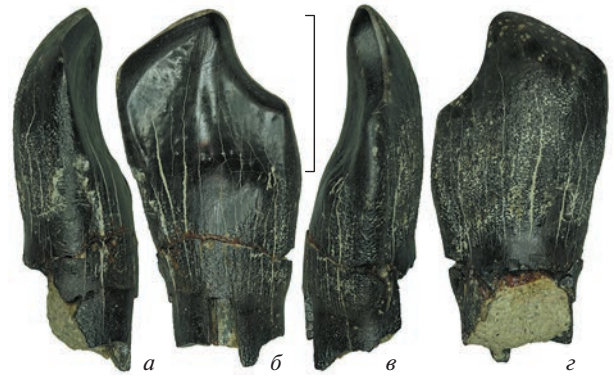


Рис. 3. Верхнечелюстной зуб *Macronaria* indet., Тээтэ (Якутия), батылхская свита, нижний мел (берриас-баррем)
 а – вид спереди; б – с лингвальной стороны; в – сзади; г – с лабиальной стороны; масштабный отрезок – 1 см

[16–18]. Этот завропод известен по изолированным зубам, шейным и спинным позвонкам, крестцу и костям стопы (рис. 4). По строению зубов и крестца он схож с *Euhelopus zdanskyi* Wiman, 1929 из раннего мела Китая [19] и может относиться к эндемичному для раннего мела Азии семейству *Euhelopodidae*.

Последнюю радиацию завропод составляют продвинутые макронарии из клалды *Titanosauria*. Титанозавры были широко распространены в меловом периоде как на северных материках (Азия, Северная Америка, Европа), так и на частях распадающейся Гондваны (Южная Америка, Африка, Индия и Мадагаскар). Для них характерен ряд морфологических особенностей, которые, очевидно, давали им эволюционное преимущество по сравнению с другими завроподами [20]. Филогения титанозавров ещё недостаточно изучена из-за большого числа таксонов, представленных фрагментарными материалами. Продвинутые титанозавры с процельными (передневогнутыми) хвостовыми позвонками объединяются в клалду *Lithostrotia*. Для литостротий также характерно наличие небольших кожных окостенений (остео-дерм). Процельные хвостовые позвонки разных видов неопределимых литостротий обнаружены в нескольких местонахождениях нижнемеловой иллекской свиты в Красноярском крае [21]. К литостротиям относится *Tengrisaurus starkovi* Averianov et Skutschas, 2017, известный по хвостовым позвонкам из нижнемеловой муртойской свиты местонахождения Могойто на берегу Гусиного озера в Бурятии [22, 23] (рис. 5). Раньше данное местонахождение датировалось барремом – аптом, по новым данным его возраст – валанжин [24]. Таким образом, тенгризавр – древнейший представитель клалды *Lithostrotia* и самый древний титанозавр в Северном полушарии.

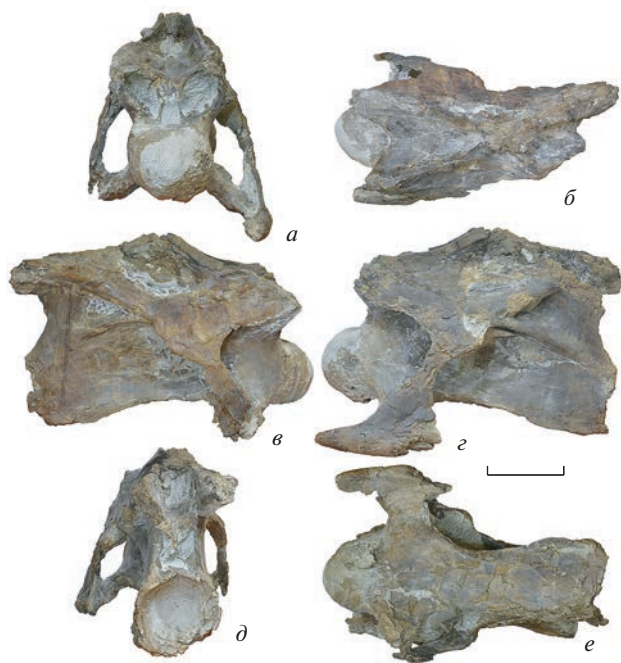


Рис. 4. Шейный позвонок *Sibirorhynchon astrosacralis* Averianov et al., 2018, Шестаково 1 (Кемеровская область), илесская свита, нижний мел (апт)
 а — вид спереди; б — сверху; в, з — сбоку; д — сзади; е — снизу; масштабный отрезок — 10 см

Вместе с тенгризавром в местонахождении Могойто встречены остатки другой, пока не описанной, формы завропод (зубы с широкими ко-

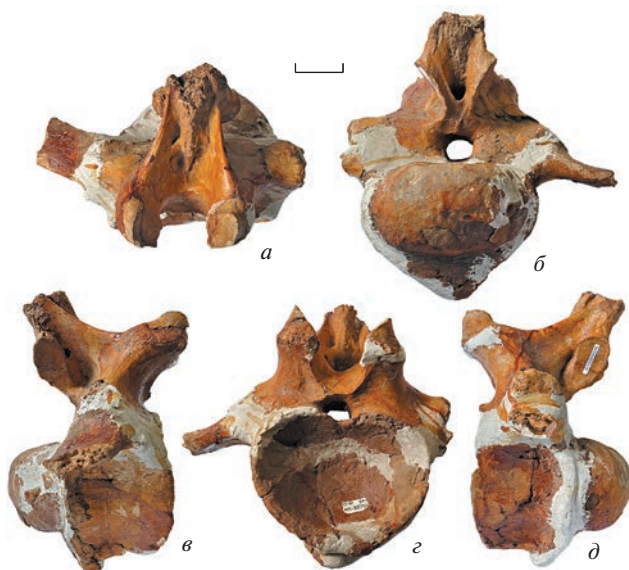


Рис. 5. Хвостовой позвонок *Tengrisaurus starkovi* Averianov et Skutschas, 2017, Могойто (Бурятия), муртойская свита, нижний мел (валанжин)
 а — вид сверху; б — сзади; в, д — сбоку; з — спереди; масштабный отрезок — 5 см

ронками [24, 25] и шейный позвонок). Местонахождение Могойто — единственное в России, где найдены остатки двух таксонов завропод. Ещё один не описанный таксон литостротий известен по процельным хвостовым позвонкам из нижнемеловой илесской свиты местонахождения Шестаково 3 в Кемеровской области [20]. Узкокоронковый зуб продвинутого титанозавра обнаружен в нижнемеловой хилокской свите местонахождения Красный Яр в Бурятии [26].

По хвостовым позвонкам одной особи описан *Volgatitan simbirskensis* Averianov et Efimov, 2018 из нижнемелового местонахождения Сланцевый рудник близ Волгограда [27] (рис. 6). Уникальность данной находки заключается в том, что она сделана в морских отложениях, возраст которых хорошо определяется по сопутствующей фауне беспозвоночных (поздний готерив, аммонитовая зона *Speetonicerus versicolor*, около 132 млн лет назад).

Волгатитан и тенгризавр принадлежат к филогенетической ветви литостротий, которая в позднем мелу в Южной Америке дала радиацию гигантских завропод — колоссозавров (*Colossosauria*). К другой ветви литостротий относится эндемичное азиатское семейство *Opisthocoelicaudidae* (см. рис. 1), представленное *Opisthocoelicaudia skarzynskii* Borsuk-Białynicka, 1977 и *Nemegto-*

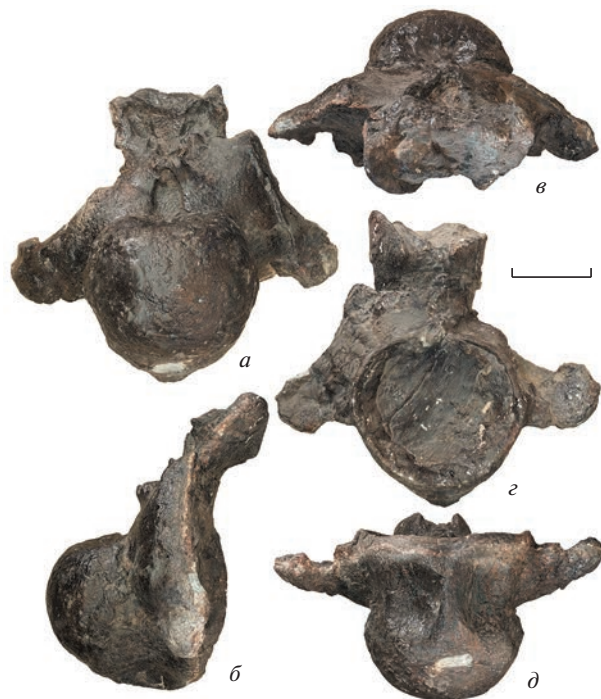


Рис. 6. Хвостовой позвонок *Volgatitan simbirskensis* Averianov et Efimov, 2018, Сланцевый рудник (Волгоградская область), нижний мел (готерив, зона *Speetonicerus versicolor*)
 а — вид сзади; б — сбоку; в — сверху; д — снизу; масштабный отрезок — 10 см



Рис. 7. Зуб *Opisthocoelecaudidae* indet., Благовещенск (Амурская область), удурчуканская свита, верхний мел (маастрихт)
 а — вид спереди; б — с лингвальной стороны; в — апикаль; з — с лабиальной стороны; д — поперечное сечение на базальном конце; масштабный отрезок — 5 мм

saurus mongoliensis Nowinski, 1971 из позднего мела Монголии [28–30]. Карандашеподобные зубы опистоцеликаудид известны из верхнемеловых отложений Узбекистана и Казахстана [31–33]. Зуб неопределимого представителя опистоцеликаудид обнаружен в верхнемеловой удурчуканской свите местонахождения Благовещенск в Амурской области [34] (рис. 7) — это пока единственная находка завропод в верхнемеловых отложениях России.

В целом история завроподоморфов, обитавших на территории нашей страны, известна крайне фрагментарно: описано всего три таксона завропод и ещё два таксона достаточно хорошо охарактеризованы по найденным материалам и будут описаны в ближайшем будущем. Большинство находок завропод из России относится к нижнему мелу и принадлежит титанозаврам клады *Lithostrotia*. Совершенно ничего не известно о базальных завроподоморфах позднего триаса — ранней юры, и такие находки вряд ли когда-нибудь будут сделаны в России из-за отсутствия континентальных отложений данного возраста. Найденные в средней юре Красноярского края остатки эузавропод *Mamenchisauridae* существенно расширили представления о распространении этой клады, ранее известной преимущественно

из Китая. В верхнем мелу России обнаружен всего один зуб завропода. Наиболее перспективны для поиска сочленённых остатков завропод в России нижнемеловые континентальные отложения Западной Сибири.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-14-00020П) и Зоологического института РАН (государственное задание № 122031100282-2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Sereno P.C., Martínez R.N., Alcober O.A. Osteology of *Eoraptor lunensis* (Dinosauria, Sauropodomorpha) // *Journal of Vertebrate Paleontology*. 2013. V. 32. Sup. 1. P. 83–179.
2. Cabreira S.F., Kellner A.W.A., Dias-Da-Silva S. et al. A unique Late Triassic dinosauriform assemblage reveals dinosaur ancestral anatomy and diet // *Current Biology*. 2016. № 22. P. 3090–3095.
3. Wilson J.A., Sereno P.C. Early evolution and higher-level phylogeny of sauropod dinosaurs // *Journal of Vertebrate Paleontology*. 1998. V. 18. Sup. to № 2. P. 1–72.
4. McPhee B.W., Benson R.B.J., Botha-Brink J. et al. A giant dinosaur from the earliest Jurassic of South Africa and the transition to quadrupedality in early sauropodomorphs // *Current Biology*. 2018. № 19. P. 3143–3151.
5. Smith N.D., Pol D. Anatomy of a basal sauropodomorph dinosaur from the Early Jurassic Hanson Formation of Antarctica // *Acta Palaeontologica Polonica*. 2007. № 4. P. 657–674.
6. Benton M.J., Juul L., Storrs G.W. et al. Anatomy and systematics of the prosauropod dinosaur *Thecodontosaurus antiquus* from the Upper Triassic of southwest England // *Journal of Vertebrate Paleontology*. 2000. № 1. P. 77–108.
7. Юрьев К.Б. Краткий обзор находок динозавров на территории СССР // *Учёные записки ЛГУ. Серия биологических наук*. 1954. № 181. С. 183–197.
8. Несов Л.А. Динозавры Северной Евразии: новые данные о составе комплексов, экологии и палеобиогеографии. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1995.
9. Averianov A.O., Krasnolutskiy S.A., Ivantsov S.V. et al. Sauropod remains from the Middle Jurassic Itat Formation of West Siberia, Russia // *PalZ*. 2019. № 4. P. 691–701.
10. Moore A.J., Barrett P.M., Upchurch P. et al. Re-assessment of the Late Jurassic eusauropod *Mamenchisaurus sinocanadorum* Russell and Zheng, 1993, and the evolution of exceptionally long necks in mamenchisaurids // *Journal of Systematic Palaeontology*. 2023. № 1. 2171818.
11. Whitlock J.A. A phylogenetic analysis of Diplodocoidea (Saurischia: Sauropoda) // *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2011. № 4. P. 872–915.

12. Xu X., Upchurch P., Mannion P.D. et al. A new Middle Jurassic diplodocoid suggests an earlier dispersal and diversification of sauropod dinosaurs // *Nature Communications*. 2018. V. 9. 2700.
13. Averianov A.O., Zverkov N.G. New diplodocoid sauropod dinosaur material from the Middle Jurassic of European Russia // *Acta Palaeontologica Polonica*. 2020. № 3. P. 499–509.
14. Averianov A.O., Sues H.-D. First rebbachisaurid sauropod dinosaur from Asia // *PLoS One*. 2021. № 2. e0246620.
15. Averianov A.O., Skutschas P.P., Schellhorn R. et al. The northernmost sauropod record in Northern Hemisphere // *Lethaia*. 2020. № 3. P. 362–368.
16. Averianov A.O., Voronkevich A.V., Maschenko E.N. et al. A sauropod foot from the Early Cretaceous of Western Siberia, Russia // *Acta Palaeontologica Polonica*. 2002. № 1. P. 117–124.
17. Averianov A.O., Ivantsov S.V., Skutschas P.P. et al. A new sauropod dinosaur from the Lower Cretaceous Ilek Formation, Western Siberia, Russia // *Geobios*. 2018. № 1. P. 1–14.
18. Аверьянов А.О., Лопатин А.В. Новые данные о *Sibirorotitan*, титанозавриформном завропode из раннего мела Западной Сибири // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2022. № 1. С. 60–64.
19. Wilson J.A., Upchurch P. Redescription and reassessment of the phylogenetic affinities of *Euhelopus zdanskyi* (Dinosauria: Sauropoda) from the Early Cretaceous of China // *Journal of Systematic Palaeontology*. 2009. № 2. P. 199–239.
20. Аверьянов А.О. Титанозавры России // *Природа*. 2019. № 10. С. 27–34.
21. Averianov A.O., Ivantsov S.V., Skutschas P.P. Caudal vertebrae of titanosaurian sauropod dinosaurs from the Lower Cretaceous Ilek Formation in Western Siberia, Russia // *Cretaceous Research*. 2020. V. 107. 104309.
22. Averianov A.O., Skutschas P.P. A new lithostrotian titanosaur (Dinosauria, Sauropoda) from the Early Cretaceous of Transbaikalia, Russia // *Biological Communications*. 2017. № 1. P. 6–18.
23. Averianov A.O., Sizov A.V., Skutschas P.P. Gondwanan affinities of *Tengrisaurus*, Early Cretaceous titanosaur from Transbaikalia, Russia (Dinosauria, Sauropoda) // *Cretaceous Research*. 2021. V. 122. 104731.
24. Averianov A.O., Sizov A.V., Grigoriev D.V. et al. New data on dinosaurs from the Lower Cretaceous Murtoi Formation of Transbaikalia, Russia // *Cretaceous Research*. 2022. V. 138. 105287.
25. Averianov A.O., Starkov A.I., Skutschas P.P. Dinosaurs from the Early Cretaceous Murtoi Formation in Buryatia, Eastern Russia // *Journal of Vertebrate Paleontology*. 2003. № 3. P. 586–594.
26. Averianov A.O., Skutschas P.P. Additions to the Early Cretaceous dinosaur fauna of Transbaikalia, eastern Russia // *Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences*. 2009. № 4. P. 363–378.
27. Averianov A.O., Efimov V.M. The oldest titanosaurian sauropod of the Northern Hemisphere // *Biological Communications*. 2018. № 3. P. 145–162.
28. Borsuk-Biatynicka M. A new camarasaurid sauropod *Opisthocoeleicaudia skarzynskii*, gen. n., sp. n. from the Upper Cretaceous of Mongolia // *Palaeontologia Polonica*. 1977. V. 37. P. 1–64.
29. Nowinski A. *Nemegtosaurus mongoliensis* n. gen., n. sp. (Sauropoda) from the uppermost Cretaceous of Mongolia // *Palaeontologia Polonica*. 1971. V. 25. P. 57–81.
30. Averianov A.O., Lopatin A.V. Sauropod diversity in the Upper Cretaceous Nemegt Formation of Mongolia – a possible new specimen of *Nemegtosaurus* // *Acta Palaeontologica Polonica*. 2019. № 2. P. 313–321.
31. Averianov A.O., Sues H.-D. Sauropod teeth from the Upper Cretaceous Bissekty Formation of Uzbekistan // *Historical Biology*. 2017. № 5. P. 641–653.
32. Averianov A.O., Sues H.-D. Review of Cretaceous sauropod dinosaurs from Central Asia // *Cretaceous Research*. 2017. V. 69. P. 184–197.
33. Аверьянов А.О., Лопатин А.В. Новые данные о поздне меловых завроподах из бостобинской свиты Северо-Восточного Приаралья (Казахстан) // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2022. № 1. С. 32–35.
34. Аверьянов А.О., Болотский Ю.Л., Болотский И.Ю. Завропод из позднего мела Амурской области // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2023. № 2. С. 237–239.

БАЛАНС УГЛЕРОДА НА ПОСТАГРОГЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

© 2023 г. А. В. Дмитриев^{a,b,*}, А. В. Леднёв^{a,c,**}

^aУдмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Ижевск, Россия

^bУдмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

^cУдмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
с. Первомайский, Завьяловский район, Россия

*E-mail: lexusD1976@mail.ru

**E-mail: av-lednev@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.01.2023 г.

После доработки 10.04.2023 г.

Принята к публикации 22.04.2023 г.

В статье анализируется изменение показателей депонирования углерода и его высвобождения в атмосферу на дерново-подзолистых почвах в зависимости от типа угодий и элементов рельефа. В качестве основного объекта исследований выбраны разновозрастные залежи. Они сравнивались с расположенными поблизости пахотными и лесными угодьями. Установлено, что максимальные объёмы ежегодного связывания и выделения углерода отмечаются в лесных угодьях, залегающих на аккумулятивных звеньях катены (5.7 и 5.41 тС/га соответственно), минимальные — на пашне на транзитных звеньях (1.23 и 1.47 тС/га соответственно). Количество связанного углерода на залежах обусловлено периодом их зарастания и месторасположением: для залежей с периодом зарастания до 20 лет — 1.84–3.49 тС/га, более 20 лет — 3.02–3.65 тС/га. Наибольшие показатели депонирования и высвобождения углерода наблюдались на аккумулятивных звеньях катены, что объясняется лучшими условиями увлажнения этих участков, особенно в засушливые периоды.

Расчёт годового баланса углерода на ключевых площадках показал отрицательный тренд его накопления на пашне, а также на залежах с периодом зарастания до 20 лет. Наибольший положительный баланс фиксировался под лесами, что подтверждает их ведущую роль в связывании углекислого газа атмосферы.

Ключевые слова: залежь, период зарастания, звенья катены, баланс углерода, дерново-подзолистые почвы.

DOI: 10.31857/S0869587323050031, EDN: VVTJHD



ДМИТРИЕВ Алексей Валентинович — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник УдмФИЦ УрО РАН, доцент УдГАУ. ЛЕДНЁВ Андрей Викторович — доктор сельскохозяйственных наук, руководитель УдмНИИСХ.

На протяжении многих лет активно обсуждаются доказательства глобального изменения климата и его негативное влияние на окружающую среду [1–3]. Выяснение причин резкого потепления и поиск путей его замедления — одни из ведущих направлений научных исследований в России и мире, актуальность которых со временем только возрастает [1]. Среднегодовая температура воздуха у поверхности земли на территории нашей страны с середины 1970-х годов растёт в среднем на 0.47°C за 10 лет, что в 2.5 раза превышает темпы роста средней глобальной температуры воздуха (0.18°C за 10 лет) [4]. Повышение концентрации углекислого газа (как одного из основных парниковых газов) в атмосфере служит главным фактором, влияющим на изменение климата. Глобальные концентрации CO₂ отража-

ют баланс между выбросами газов в результате природных процессов и хозяйственной деятельности человека и их поглощением биосферой, включая Мировой океан.

В этом контексте стоит упомянуть государственные документы, затрагивающие тему изменений климата в России: “Климатическая доктрина Российской Федерации на период до 2030 г.” [5], “Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 г.” [6], предусматривающая мероприятия по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу, и “Национальный план мероприятий адаптации к изменениям климата на период до 2022 года” [4].

Суммарный годовой поток CO_2 из почв наземных экосистем планеты оценивается в 50–77 ГтС/год [7], из которых 11–17% углерода поступает в атмосферу из-за хозяйственной деятельности человека, в том числе при распашке залежей и целинных земель – 2.2 ГтС/год. Отмечено, что в России эмиссия CO_2 из почвы по меньшей мере в 8 раз превосходит эмиссию из промышленных источников [8, 9].

Изменение характера использования угодий может сказываться на содержании органического углерода в почве [10, 11]. Поэтому даже небольшие вариации почвенных потоков CO_2 , связанные со сменой системы землепользования или климатическими аномалиями, могут оказывать значительное влияние на атмосферную концентрацию диоксида углерода [12, 13]. Ряд исследователей отмечают активное накопление углерода в фитомассе древесной растительности в результате процесса лесовосстановления на бывших сельскохозяйственных землях [14–16]. Если динамика CO_2 почвы лесных и пахотных угодий достаточно стабильна по годам, то процессы зарастания сельскохозяйственных площадей (сначала травянистой, а затем древесно-кустарниковой растительностью) и обратное их вовлечение в интенсивный сельскохозяйственный оборот приводят к существенной изменчивости показателей, что требует изучения.

Известно, что природные биологические факторы играют огромную роль в формировании баланса углерода в окружающей среде. На суше к ним относятся растительность, микроорганизмы, почвенная и надпочвенная фауна. Именно их жизнедеятельность поддерживает стабильный химический состав атмосферы, в первую очередь содержание кислорода и углекислого газа. Так как численность фауны и почвенных микроорганизмов из года в год существенно не изменяется, то связывание углерода и его высвобождение в виде углекислого газа в атмосферу практически равны. Отсюда следует, что из всех природных факторов только растительность может смещать планетарный баланс углерода в ту или иную сторону.

Первичная продукция, создаваемая зелёными растениями в результате фотосинтеза, определяет биологический потенциал территории, а трансформация поступающего мёртвого органического вещества в почве – природный баланс углерода. Таким образом, от вида и продуктивности растений, с одной стороны, и интенсивности процессов минерализации и гумификации мёртвого органического вещества, с другой, зависят количество связанного из углекислого газа органического углерода и его обратное высвобождение в атмосферу. В России площадь покрытых лесной растительностью земель составляет 795 млн га (46.4% территории страны) [17]; эти земли выступают основным накопителем углерода. Кроме лесов, большую роль в потреблении CO_2 играют сельскохозяйственные земли (пашни, кормовые угодья и залежи). Каждый тип земель по-своему участвует в изменении баланса углерода в окружающей среде.

Характерная особенность лесных угодий – ежегодное связывание углекислого газа в процессе фотосинтеза, которое характеризуется приростом древесно-кустарниковой растительности (сумма приростов спелого и приспевающего древостоя, подроста и подлеска) и биомассой травянистого покрова. Расход углерода в лесу зависит от скорости минерализации и гумификации опада древесно-кустарниковой растительности (листьев и хвои) и травяной биомассы.

Баланс углерода на пашне складывается из объёма углерода, связанного биомассой только травянистых растений и равного общей продуктивности сельскохозяйственных культур и сорняков (надземных и подземных органов), и его обратного высвобождения в результате минерализации и гумификации этой биомассы.

Баланс углерода на залежных землях наиболее сложный. На его параметры влияют ландшафтные условия, смена ботанического состава и степень залесения постагрогенной почвы древесно-кустарниковой растительностью, которая, в свою очередь, зависит от периода зарастания. Именно поэтому залежные земли выбраны нами в качестве основного объекта исследований.

В настоящее время проведён большой объём работы по изучению влияния различных природных и антропогенных факторов на характер и скорость смены травянистых и древесно-кустарниковых ассоциаций в зависимости от природных условий и типа использования постагрогенных почв, установлены стадии их зарастания [18–23]. Влияние изменения типа использования земель на запасы углерода и его фракционный состав в почвах широко обсуждался специалистами [13, 24–28]. Разработан комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России, позволяющий адапти-

ровать стратегии землепользования к условиям конкретных регионов [29]. Однако в этой области имеется целый ряд вопросов, недостаточно хорошо изученных в научной литературе или имеющих спорный характер. В частности, не отражено влияние на баланс углерода в системе “атмосфера → растения → почва → атмосфера” периода зарастания залежи, её месторасположения на элементах рельефа и гранулометрического состава почв.

Цель нашего исследования — установить влияние зарастания пашни травянистой, а затем древесно-кустарниковой растительностью на процессы связывания—высвобождения углекислого газа и определить их основные параметры.

Регион, растительность и почвы. Изучение влияния процесса зарастания пашни на баланс углерода в окружающей среде проводилось в Удмуртской Республике — Среднем Предуралье. Этот регион располагается в основном в подзоне южной тайги, а самая южная её часть — в подзоне северной лесостепи [30]. В структуре земельного фонда республики преобладают лесные угодья, на долю которых приходится 48.1% всей территории, и земли сельскохозяйственного назначения — 44.2%. Лесная растительность представлена смешанными травянистыми лесами, в северной части в древостое преобладают хвойные породы, а в центральной и южной частях — мелколиственные. После экономического кризиса 1990-х годов значительная часть сельскохозяйственных угодий постепенно заросла древесно-кустарниковой растительностью, и только после 2010 г. наметилась тенденция к их обратному превращению в пашню. С 1990 г. посевная площадь в Удмуртии сократилась на 483.4 тыс. га (–34.5%), пашни — на 202.6 тыс. га (–13%), большая часть этих земель перешла в категорию заброшенных [31]. Однако официальная площадь залежей по состоянию на 1 января 2021 г. — менее 0.02% (8.7 тыс. га) [32].

Климат Удмуртской Республики умеренно-континентальный с продолжительной холодной многоснежной зимой и довольно жарким коротким летом. Среднегодовое количество осадков снижается с севера на юг и составляет 650 и 400 мм соответственно, из них на холодное время приходится 30–35%, на тёплое — 65–70%. Испарение варьируется от 400 до 450 мм. Сумма активных температур выше 10°C¹ — 1700–2000, коэффициент увлажнения по Высоцкому–Иванову — 1.0–1.4. Рельеф представляет собой увалистую равнину с хорошо выраженной овражно-балочной се-

тью. Преобладающие почвообразующие породы — покровные глины и суглинки элювиально-делювиального и делювиально-солифлюкционного происхождения [20, 26].

Исследование современных почвообразовательных процессов, в том числе баланса углерода, проводилось на ключевых площадках, которые были выявлены в результате экспедиционного почвенно-экологического обследования территории Удмуртской Республики. Участок, объединявший площадки, располагался на одной почвенной разности² транзитного или аккумулятивного элемента рельефа³. На каждой площадке на достаточно близком расстоянии (не более 60–80 м) присутствовали три вида угодий (пашня, разновозрастная залежь, лес).

В данной статье приведены данные по 18 ключевым площадкам, расположенным на транзитных (10 площадок) и аккумулятивных (8 площадок) звеньях катен⁴, которые наиболее контрастно отражают современные процессы почвообразования, протекающие в подзоне южной тайги. Период зарастания залежных земель на площадках колебался от 5 до 80 лет. По изменению характера растительности площадки были разбиты на две группы: зарастание до 20 (разнотравно-злаковые и разнотравные ассоциации) и более 20 лет (разнотравные закустаренные и залесённые). В качестве контроля выбрана пашня (звено севооборота: ячмень с подсевом клевера, клевер 1 года пользования, клевер 2 года пользования, озимая рожь), на примере которой изучались свойства современных агрогенно-изменённых почв, абсолютного контроля — лес, отражавший свойства естественных природных почв. В соответствии с типологией, разработанной академиком В.Н. Сукачёвым (1951), лес транзитного звена катены представлен ельниками сложными (липовыми), аккумулятивного звена катены — ельниками травяными (папоротниковыми) и смешанными липово-берёзовыми лесами (приспевающими и спелыми).

Основной объект исследований — агродерново-подзолистые реградированные (возврат к

² Почвенная разность — неопределённый классификационный термин, используемый для обозначения любой почвы без указания её таксономического статуса.

³ Транзитный ландшафт — склоны различной крутизны, область самого интенсивного переноса веществ в растворимом и твёрдом состоянии. Внутрипочвенный и боковой сток приводят к значительному перераспределению веществ в профиле почвы и подстилающих её породах. Аккумулятивный ландшафт формируется на отрицательных (вогнутых) элементах рельефа.

⁴ Катена — последовательность почв вниз по склону, созданная под влиянием осадков, инфильтрации и стока. В пределах катены обычно можно выделить три звена, приуроченных к разным ярусам или ступеням рельефа: элювиально-делювиационное (верхнее), транзитное (промежуточное), аккумулятивное (нижнее).

¹ Сумма активных температур — показатель, характеризующий количество тепла и представляющий собой сумму средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих определённый порог (0, 5, 10°C) или биологический минимум температуры, необходимой для развития конкретного растения.

предшествующей стадии почвообразования) почвы разного периода зарастания (Albic Glossic Retisols (Aric, Cutanic, Ochric)⁵) [7], расположенные на транзитных и аккумулятивных элементах ландшафта. Подробное описание ключевых площадок и характеристика их почвенного покрова приведены в работах [20, 33]. На залежных землях для выявления стадийности процесса зарастания рассматривалась степень наложения природных (зональных) процессов почвообразования на агрогенно-изменённые почвы в зависимости от времени воздействия сорной травяной и древесно-кустарниковой растительности.

Исследования проводили примерно в одно и то же время — в июле, в период максимального развития биомассы растений. На каждой площадке заложены по три почвенных полуразреза на глубину 100–110 см с подробным изучением их морфологических признаков. С целью определения агрохимических показателей отобраны почвенные образцы из генетических горизонтов, а из пахотного и постагрогенного горизонтов они отбирались в слоях 0–10 и 10–20 см. На ключевых участках вокруг каждого полуразреза заложена пробная площадка размером 10 × 10 м, на которой проведено полное описание видового состава сообществ с выделением доминантов числовым и весовым методом в период максимального развития травостоя (июль) и определена чистая первичная продукция [13]. На пашне доля корней зерновых принята за 10% [34].

В структуре органического вещества растительного покрова чистая первичная продукция рассчитана путём суммирования надземной (учёт сноповым методом) и подземной продукции по неполным данным с использованием формул на основании математического анализа значительного массива экспериментальных данных [35, 36].

Запас древесины и объём древесной зелени (хвоя, листья, почки, неодревесневшие побеги) на залежных и лесных участках определены по их геоботаническому описанию [35] и данным лесотаксационного справочника [37], запасы тонких корней деревьев — по работе [38].

Содержание органического вещества находили по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), подготовку почвенной пробы проводили с использованием наэлектризованной стеклянной палочки. Количество депонированного биомассой растений углерода и гумификация мёртвого органического вещества рассчитаны с учётом содержания его в гумусе гуматно-фульватного типа — 42%, в травяном опаде с учётом видового состава — 45%, в древесном в зависимости от породного состава — 42–45%; коэффициент гу-

мификации растительного опада, образующегося за год, для лесных экосистем травяных растений — 5%, лесной растительности — 10% [39]. Запасы углерода каждого слоя профиля исследуемых почв определяли по формуле:

$$\text{ОВП} = C \cdot \rho_V \cdot h,$$

где ОВП — органическое вещество почвы, тС/га; C — абсолютное среднее содержание органического вещества в слое, %; ρ_V — плотность почвы, г/см³; h — мощность слоя, см.

Суммарные запасы органического вещества почвы в слое 0–100 см находили простым суммированием показателей в соответствующих слоях. Математическая обработка результатов исследований проведена с использованием прикладных программ Microsoft Excel. В таблицах и на графиках приведены средние значения и стандартная ошибка. Все статистические процедуры выполняли при уровне значимости P_{95} .

Органическое вещество почвы. Ежегодное поступление свежего органического вещества в почву, его количество и химический состав определяют процесс гумификации, то есть объём образующегося гумуса, его запасы и перераспределение по профилю почвы. На рисунке отражены выявленные закономерности перераспределения органического вещества в почвенном профиле ключевых площадок, расположенных на транзитных элементах катены. Видно, что наиболее значительные изменения в содержании и перераспределении органического вещества происходят после 20-летнего зарастания залежи, и они касаются в первую очередь постагрогенного горизонта. Наблюдается чёткая дифференциация первоначально однородного (гомогенного) пахотного слоя на два подгоризонта (подслоя). Это обусловлено тем, что в результате ежегодного поступления неотчуждаемого растительного опада на поверхность почвы и его гумификации увеличивается содержание гумуса в верхней части постагрогенного слоя, а в нижней части за счёт усиления зонального кислотного гидролиза — снижение. Стратификационное отношение содержания гумуса в верхней части (0–10 см) постагрогенного слоя залежных почв к его нижней части (10–20 см) в среднем по площадкам составило более 1.4, а в аналогичной почве, расположенной под пашней, — 1. Наиболее высокая степень дифференциации гумуса в верхней части профиля дерново-подзолистых почв наблюдалась в их целинных разновидностях под лесом (стратификационное отношение — 2.8), что свидетельствовало о наличии в почвах двух генетических горизонтов АУ (серо-гумусовый) и ЕL (элювиальный), значительно отличающихся по содержанию органического вещества. Более подробно эта закономерность описана в работе [40].

⁵ Дерново-подзолистая суглинистая с языками более лёгкого и светлого материала в более тяжёлом и тёмноокрашенном материале.

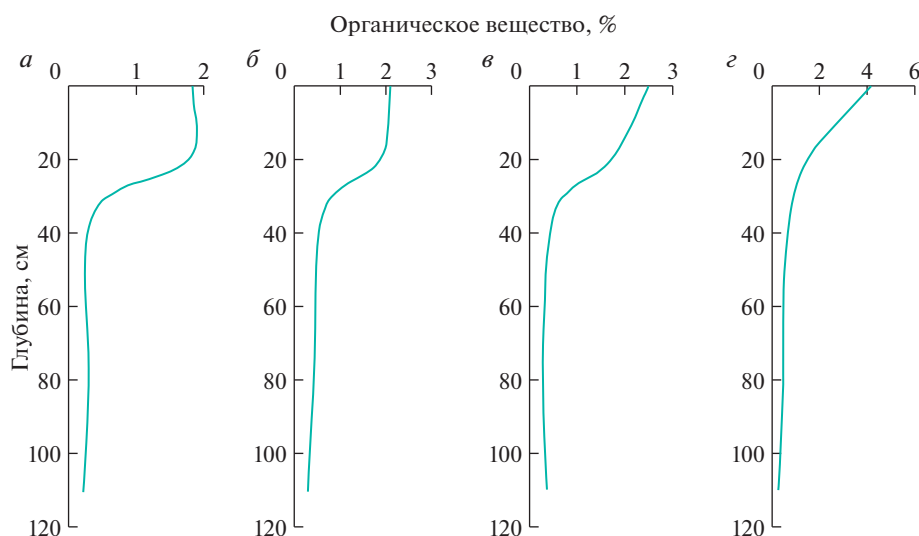


Рис. 1. Изменение содержания органического вещества по профилю дерново-подзолистых суглинистых почв, расположенных на транзитных звеньях катены (n – объём выборки)
 а – пашня ($n = 14$); б – залежь до 10 лет ($n = 4$); в – залежь 10–20 лет ($n = 7$); з – лес ($n = 14$)

Содержание органического вещества в почвах лесных участков резко убывает вниз по профилю, указывая на классический гумусо-аккумулятивный характер распределения в метровом слое. Изменения содержания органического вещества по профилю почв ключевых площадок, расположенных на аккумулятивных звеньях катены, менее выражены, так как изначально почвы имели более мощный гумусовый горизонт и современный элювиальный процесс на этих элементах рельефа протекает с меньшей интенсивностью.

Параметры связывания углерода биомассой растений на разных типах угодий, звеньях катен и их зависимость от периода зарастания залежей приведены в таблице 1. Распределение влаги между элементами катен обусловило большую продуктивность почв ключевых площадок, расположенных на аккумулятивных звеньях. В результате содержание органического вещества в метровом слое почв на аккумулятивных звеньях в среднем было на 33.7 т/га выше (+37.9%), чем на транзитных. Необходимо отметить значительный

Таблица 1. Запас органического вещества почвы (слой 0–100 см, гумус, растительные и животные остатки разной степени разложения), т/га

Звено катены, угодье	n	$\bar{x} \pm \Delta x$	$\pm$ к контролю	s^2	s	V	t_{95}
Транзитное, пашня (контроль)	10	80.4 ± 20.9	–	897.1	30	37.3	2.2
Транзитное, залежь до 20 лет	10	86.6 ± 18.4	+6.2	694.8	26.4	30.4	2.2
Транзитное, залежь более 20 лет	4	85.5 ± 25	+5.1	246.5	15.7	18.4	3.2
Транзитное, лес	6	103.2 ± 14.3	+22.8	185.7	13.6	13.2	2.6
Среднее		88.9 ± 9.9				–	
Аккумулятивное, пашня (контроль)	8	104.2 ± 32.3	–	1534.4	39.2	37.6	2.3
Аккумулятивное, залежь до 20 лет	7	107.2 ± 45.5	+3	2466.5	49.7	46.3	2.4
Аккумулятивное, залежь более 20 лет	4	136.1 ± 23	+21.9	208.5	14.4	10.6	3.2
Аккумулятивное, лес	7	142.8 ± 19.5	+38.6	450.6	21.2	14.8	2.4
Среднее		122.6 ± 19.7				–	

Где n – объём выборки; $\bar{x} \pm \Delta x$ – среднее значение $\pm$ стандартное отклонение; s^2 – дисперсия; s – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации; t_{95} – теоретическое значение критерия Стьюдента

разброс содержания органического вещества по ключевым площадкам, обусловленный разным уровнем их плодородия. Наименьшая вариативность данного показателя зафиксирована под лесом.

Изменение содержания органического вещества в дерново-подзолистых почвах (ОВП) в процессе зарастания пашни имеет свои особенности. В отличие от почв лугово-степной зоны [20, 33] их залесение приводит к увеличению органического вещества. Для пахотных участков отмечается существенное колебание суммарных запасов ОВП. В слое почвы 0–100 см ключевой площадки транзитного звена катены с периодом зарастания до 20 лет запас увеличился в среднем на 6.2 т/га (+7.7%) по сравнению с пашней. Дальнейшее зарастание (залежь более 20 лет) привело к снижению показателя на 1.1 т/га (+1.3%) по сравнению с предыдущим периодом, но он всё ещё превышал запас ОВП пахотных угодий на 5.1 т/га (+6.3%). В почвах площадок аккумулятивного звена с периодом зарастания до 20 лет запас органического вещества почвы увеличился в среднем на 3 т/га (+2.9%) по сравнению с пашней. Дальнейшее зарастание (залежь более 20 лет) повлекло значительное увеличение ОВП на 21.9 т/га (+21%) по сравнению с пашней.

Большой запас органического вещества почвы отмечен в лесных угодьях, особенно на аккумулятивных участках катен, где он на 39.6 т/га был выше, чем на транзитных. В почвах пахотных угодий и залежи (до 20 лет), как аккумулятивных, так и транзитных звеньев, наблюдалась сильная вариация запаса ОВП в слое 0–100 см, обусловленная разными уровнями плодородия полей севооборотов.

Разница содержания органического вещества почвы пашни и леса на ключевых площадках транзитных звеньев катен составила 22.8 т/га, аккумулятивных — 38.6 т/га. Положительный баланс запаса ОВП по мере вывода пашни из активного сельскохозяйственного оборота обусловлен усилением гумусообразования в верхней части гумусового слоя за счёт большего прихода мёртвого органического вещества, которое лишь частично снижалось в результате усиления зонального кислотного гидролиза в нижней части этого слоя.

Органическое вещество растений. В предыдущих исследованиях установлено, что в процессе зарастания пашни разнотравно-злаковые ассоциации постепенно сменяются типичным разнотравьем с преобладанием на более поздних этапах лесных видов, резким снижением (более чем в 2 раза) продуктивности травяной растительности с появлением древесной [41]. Увеличение биомассы растений определяется приростом древесно-кустарниковой растительности (сумма приро-

стов спелого и приспевающего древостоя, подроста и подлеска) и биомассой травяного покрова.

Рассчитанный ежегодный прирост подземной и надземной продукции растительности ключевых площадок аккумулятивного звена катены на 1.36 т/га (+23.6%) в пересчёте на абсолютно сухое вещество (а.с.в.) превышал продуктивность транзитной. Это произошло в основном за счёт массы древесной зелени, что, по всей видимости, обусловлено двумя причинами: лучшей обеспеченностью влагой пониженных элементов рельефа, особенно в засушливые годы и периоды, и преобладанием лиственных пород в составе древостоя.

На почвах ключевых площадок аккумулятивных звеньев наблюдалась наибольшая разница суммарного ежегодного прироста растительности с периодом зарастания до 20 лет (3.42 т/га а.с.в.), более 20 лет (1.41 т/га а.с.в.) и почвах лесных угодий (0.9 т/га а.с.в.) по сравнению с транзитными площадками. Таким образом, ежегодный прирост растительности аккумулятивных элементов рельефа превышает таковой у транзитных, особенно в период зарастания до 20 лет, далее разница сглаживается и практически приближается к фоновому значению леса.

Состав органического вещества растений (ОВР) представлен в таблице 2. При зарастании пашни древесно-кустарниковой растительностью запас ОВР увеличивается и достигает максимума под лесом. Рассчитанный запас контрольных площадок аккумулятивного звена катены на 5.45 т/га а.с.в. (+12.2%) превышал запас транзитных площадок за счёт увеличения массы древесной растительности на 4.25 т/га а.с.в. (+11.7%) и древесной зелени на 1.18 т/га а.с.в. (+24.8%). Наибольшее отношение ОВП к ОВР наблюдалось на ключевых площадках пахотных угодий; по мере зарастания древесно-кустарниковой растительностью оно сокращается и достигает минимума в естественных лесах. Вклад в биомассу травяной растительности с увеличением периода зарастания снижается, древесной — увеличивается.

Баланс углерода органического вещества. Для расчёта баланса гумуса почв определён положительный и отрицательный баланс углерода. Количество ежегодно связываемого растениями углерода найдено путём суммирования массы травяной растительности, древесной зелени и тонких корней деревьев. Установлено, что растительность, произрастающая на площадках аккумулятивного звена катены, в среднем накапливает на 0.68 тС/га больше, чем на транзитном. В результате в почвах аккумулятивного звена количество связанного углерода ОВП на 0.05 тС/га выше, чем на транзитном участке. На аккумулятивных звеньях сумма связанного углерода (ОВР+ОВП) в почвах на 0.72 тС/га выше, чем на транзитных.

Таблица 2. Количество органического вещества растений на ключевых площадках, т/га а.с.в.

Звено катены, угодье	Масса травяной раститель- ности	Масса древесной раститель- ности	Масса древесной зелени	Запасы тонких корней деревьев	Всего	ОВП/ ОВР
Транзитное, пашня (контроль)	2.61	нет	нет	нет	2.61	30.8
Транзитное, залежь до 20 лет	1.82	5.37	1.99	мало	9.18	9.4
Транзитное, залежь более 20 лет	1.35	22.04	4.61	мало	28	3.1
Транзитное, лес	1.2	118.24	7.67	1.75	128.86	0.8
Среднее	1.75 ± 0.63	36.41 ± 60.93	4.76 ± 2.84	1.75	44.67	2
Аккумулятивное, пашня (контроль)	2.3	нет	нет	нет	2.30	45.3
Аккумулятивное, залежь до 20 лет	2.04	4.35	5.19	мало	11.58	9.3
Аккумулятивное, залежь более 20 лет	1.42	24.43	4.27	1.68	31.8	4.3
Аккумулятивное, лес	1.37	133.87	8.35	1.8	145.39	1
Среднее	1.78 ± 0.46	40.66 ± 69.71	5.94 ± 2.14	1.74	50.12	2.4

Период зарастания также оказал влияние на количество связанного углерода. В залежи транзитного звена с периодом зарастания до 20 лет количество депонированного (аккумулятивного) углерода ОВР на 0.54 тС/га/год превышало показатель пашни, а в залежи более 20 лет — на 1.43 тС/га/год (+122.2%), но не достигло значений лесных угодий — 2.59 тС/га/год. В почвах аккумулятивного звена наблюдались более значимые изменения: в среднем количество углерода ОВР увеличилось на 2.21 тС/га/год (+212.5%) в почвах с периодом зарастания до 20 лет, с зарастанием более 20 лет — на 2.28 тС/га/год (+219.2%) по сравнению с пашней. Большая доля в депонировании углерода принадлежит древесной растительности — до 80% всего углерода органического вещества растений.

Аналогичными, но менее выраженными, были изменения содержания связанного углерода органического вещества почвы. Суммарное количество связанного углерода (ОВР+ОВП) площадок аккумулятивного звена катены на 1.08 тС/га/год (+23.8%) выше, чем транзитного (табл. 3).

Появление древесной растительности на залежных землях определяет количество депонированного углерода как в составе ОВР, так и ОВП. Отрицательный баланс углерода складывается из минерализации органического вещества растений и гумуса и эмиссии CO₂ в атмосферу. Более высокие темпы накопления гумуса почвами аккумулятивного звена обусловили высвобождение ими углерода на 0.15 тС/га/год (+37.5%) больше, чем транзитными почвами (табл. 4). При минера-

лизации органического вещества растений аккумулятивного звена катены выделение углерода на 0.53 тС/га/год (+22.1%) превышает транзитное (ввиду большей продуктивности растений).

Наблюдается нарастание эмиссии углерода в результате разложения органического вещества с увеличением периода зарастания залежей, что вызвано сменой травяной растительности на древесную. Суммарное высвобождение углерода в атмосферу (ОВП+ОВР) в результате разложения органического вещества аккумулятивного звена катены на 0.69 тС/га/год больше (+24.5%), чем транзитного.

Таким образом, наиболее значимый источник ежегодного поступления углерода в атмосферу — минерализация растительного опада, на долю которого приходится 84.3–85.8% суммарного углерода органического вещества почвы и растений. Минерализация прямо пропорциональна продуктивности зарастающих земель (поступлению растительного опада в почву).

Расчёт баланса углерода показал его потери на пахотных и зарастающих (до 20 лет) землях. На залежах с периодом зарастания более 20 лет отмечен положительный баланс (аккумуляция) углерода, увеличивающийся по мере зарастания залежи, особенно после появления древесной растительности (табл. 5), которая изменяет составляющие поглощения и выделения углерода в виде CO₂. В результате дополнительно связывается 0.32–0.56 тCO₂/га/год. Наибольшее количество связываемого углерода зафиксировано на

Таблица 3. Количество связанного углерода в зависимости от вида угодий, звена катены и периода зарастания залежей, тС/га

Звено катены, угодье	<i>n</i>	Запас углерода			Ежегодно связываемый углерод		
		ОВР	ОВП	ОВР + ОВП	ОВР	ОВП	ОВР + ОВП
Транзитное, пашня (контроль)	10	1.17 ± 0.28	36.2 ± 9.4	37.4	1.17	0.06	1.23
Транзитное, залежь до 20 лет	10	4.13 ± 0.23	39.0 ± 8.3	43.1	1.71	0.13	1.84
Транзитное, залежь более 20 лет	4	12.60 ± 1.94	38.5 ± 11.2	51.1	2.75	0.27	3.02
Транзитное, лес	6	57.99 ± 5.42	46.4 ± 6.4	104.4	4.78	0.48	5.26
Среднее		18.97 ± 26.46	40.03 ± 4.42	59	2.6	0.24	2.84
Аккумулятивное, пашня (контроль)	8	1.34 ± 0.24	46.9 ± 14.5	48.2	1.34	0.05	1.39
Аккумулятивное, залежь до 20 лет	7	5.21 ± 1.5	48.2 ± 20.5	53.4	3.25	0.24	3.49
Аккумулятивное, залежь более 20 лет	4	14.31 ± 1.71	61.2 ± 10.3	75.5	3.32	0.33	3.65
Аккумулятивное, лес	7	65.42 ± 7.28	64.3 ± 8.8	129.7	5.18	0.52	5.7
Среднее		21.52 ± 32.47	55.15 ± 8.88	76.7	3.28	0.29	3.56

Таблица 4. Выделение углерода в атмосферу в результате разложения органического вещества в зависимости от вида угодий, звена катены и периода зарастания залежей, тС/га/год

Звено катены, угодье	<i>n</i>	ОВП	ОВР	ОВП+ОВР
Транзитное, пашня (контроль)	10	0.31	1.11	1.42
Транзитное, залежь до 20 лет	10	0.39	1.6	1.99
Транзитное, залежь более 20 лет	4	0.39	2.47	2.86
Транзитное, лес	6	0.46	4.35	4.81
Среднее		0.39 ± 0.04	2.38 ± 1.43	2.77 ± 1.47
Аккумулятивное, пашня (контроль)	8	0.47	0.99	1.46
Аккумулятивное, залежь до 20 лет	7	0.48	3.02	3.5
Аккумулятивное, залежь более 20 лет	4	0.61	2.85	3.46
Аккумулятивное, лес	7	0.64	4.77	5.41
Среднее		0.55 ± 0.09	2.91 ± 1.55	3.46 ± 1.61

ключевых площадках лесных угодий, где баланс составил +0.95–1.48 тСО₂/га/год.

Расположение почв на элементах рельефа также оказало значительное влияние на баланс углерода. Повышенная продуктивность почв

аккумулятивного звена катены ввиду лучшей влагообеспеченности растительности, особенно в критические периоды, обусловила увеличение как связанного (на 23.4%), так и выделенного углерода (на 24.5%).

Таблица 5. Годовой баланс углерода в зависимости от вида угодий, звена катены и периода зарастания залежей, тС/га

Звено катены, угодье	Количество связанного углерода, тС/га	Количество выделенного углерода, тС/га	Баланс углерода	
			С	CO ₂
Транзитное, пашня (контроль)	1.23	1.42	–0.19	–0.63
Транзитное, залежь до 20 лет	1.84	1.99	–0.15	–0.49
Транзитное, залежь более 20 лет	3.02	2.85	+0.17	+0.56
Транзитное, лес	5.26	4.81	+0.45	+1.48
Среднее	2.83 ± 1.78	2.76 ± 1.47	+0.07	+0.23
Аккумулятивное, пашня (контроль)	1.39	1.46	–0.07	–0.23
Аккумулятивное, залежь до 20 лет	3.49	3.5	–0.01	–0.03
Аккумулятивное, залежь более 20 лет	3.65	3.46	+0.19	+0.62
Аккумулятивное, лес	5.7	5.41	+0.29	+0.95
Среднее	3.56 ± 1.89	3.45 ± 1.61	+0.09	+0.28

* * *

Объёмы депонирования и эмиссии углерода в атмосферу в подзоне южной тайги зависят в первую очередь от вида угодий. Количество связанного углерода определяется следующими основными факторами:

- на пашне — урожайностью сельскохозяйственных культур;
- на залежах с периодом зарастания до 20 лет — продуктивностью сорно-рудеральной растительности;
- на залежах с периодом зарастания более 20 лет — наличием и степенью их зарастания древесно-кустарниковой растительностью;
- в лесах — видовым составом насаждений и их возрастом;
- интенсивностью процесса гумификации растительного опада.

Максимальный показатель ежегодного депонирования углерода отмечается в лесных угодьях, расположенных на аккумулятивных звеньях катены — 5.7 тС/га, минимальный — на пашне на транзитных звеньях — 1.23 тС/га. Количество связанного углерода на залежах определяется периодом их зарастания и месторасположением на рельефе и изменяется от 1.84–3.49 тС/га (для залежей с периодом зарастания до 20 лет) до 3.02–3.65 тС/га (более 20 лет).

Эмиссия углерода в атмосферу на всех видах угодий обусловлена минерализацией органического вещества растительного опада и почв. Наибольшее количество углерода выделяется также в лесных угодьях, расположенных на аккумулятивных звеньях катены — 5.41 тС/га, минимальный —

на пашне на транзитных звеньях — 1.42 тС/га. Количество поступающего в атмосферу углерода на залежах (в зависимости от периода их зарастания и месторасположения на рельефе) изменяется от 1.99–3.5 тС/га (для залежей с периодом зарастания до 20 лет) до 2.85–3.46 тС/га (более 20 лет). Во всех случаях наибольшие показатели депонирования и выброса углерода в атмосферу наблюдались на аккумулятивных звеньях катен, что объясняется лучшими условиями увлажнения.

Расчёт годового баланса углерода на ключевых площадках показал отрицательный тренд его накопления на пашне, а также на залежах с периодом зарастания до 20 лет. В зависимости от звена катены баланс колебался от –0.01 до –0.19 тС/га. На залежах с периодом зарастания более 20 лет в связи с появлением древесной растительности тренд стал положительным — от +0.17 до +0.19 тС/га. Наибольший положительный баланс — под лесом (от +0.29 до +0.49 тС/га). Таким образом, лесные угодья, ежегодно депонируя наибольшее количество углерода как на транзитных, так и на аккумулятивных звеньях катен, вносят самый значительный вклад в связывание углекислого газа атмосферы в составе органического вещества почв и растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эдельгериев Р.С.Х., Иванов А.Л., Донник И.М. и др. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)”. Т. 3. М.: Изд-во МБА, 2021.

2. Ларионова А.А., Курганова И.Н., Лопес Де Гереню В.О. и др. Эмиссия диоксида углерода из агросерых почв при изменении климата // Почвоведение. 2010. № 2. С. 186–195.
3. Bouwman A.F., Germon J.C. Special issue: Soils and climate change. Introduction // Biol. Fert. Soils. 1998. V. 27. P. 219.
4. Распоряжение Правительства РФ от 25.12.2019 г. № 3183-р (ред. от 23.07.2022 г.) “Об утверждении национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года”.
5. Распоряжение Президента РФ от 17.12.2009 г. № 861-рп “О Климатической доктрине Российской Федерации”.
6. Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 (ред. от 15.03.2021 г.) “О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации”.
7. Houghton R.A. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? // Global Change Biology. 2003. V. 9. P. 500–509.
8. Кудяров В.Н. Почвенные источники углекислого газа на территории России // Круговорот углерода на территории России. Избранные научные труды / Ред. Г.А. Заварзин. М.: МФ ГНИЦ ПГК, 1999. С. 165–201.
9. Кудяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф. и др. Оценка дыхания почв России // Почвоведение. 1995. № 1. С. 33–42.
10. Smith P. Land use change and soil organic carbon dynamics // Nutr. Cycl. Agroecosyst. 2008. V. 81. P. 169–178.
11. Spohn M., Novák T.J., Incze J., Giani L. Dynamics of soil carbon, nitrogen, and phosphorus in calcareous soils after land-use abandonment – A chronosequence study // Plant and Soil. 2016. № 1–2. P. 185–196.
12. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России // Дисс. ... докт. биол. наук. Пушино, 2010.
13. Poeplau C., Don A., Vesterdal L. et al. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach: soil organic carbon and land-use change // Glob. Change Biol. 2011. V. 17. P. 2415–2427.
14. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А. и др. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010.
15. Telesnina V.M., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O. et al. Dynamics of Soil Properties and Plant Composition during Postagrogenic Evolution in Different Bioclimatic Zones // Eurasian Soil Science. 2017. № 12. P. 1458–1477.
16. Telesnina V.M., Zhukov M.A. The Influence of Agricultural Land Use on the Dynamics of biological Cycling and Soil Properties in the Course of Postagrogenic Succession (Kostroma Oblast) // Eurasian Soil Science. 2019. № 9. P. 1114–1129.
17. Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 г. № 312-р “Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года”.
18. Бурдуковский М.Л., Перепёлкина П.А. Агроэкологическое состояние почв и восстановление растительности в залежных экосистемах // Биота и среда природных территорий. 2022. № 2. С. 28–36.
19. Дубровина И.А., Мошкина Е.В., Туонен А.В. и др. Динамика свойств почв и экосистемные запасы углерода при разных типах землепользования (средняя тайга Карелии) // Почвоведение. 2022. № 9. С. 1112–1125.
20. Леднёв А.В., Дмитриев А.В. Современные почвообразовательные процессы в постагрогенных дерново-подзолистых почвах Удмуртской Республики // Почвоведение. 2021. № 7. С. 884–896.
21. Рыжова И.М., Телеснина В.М., Ситникова А.А. Динамика свойств почв и структуры запасов углерода в постагрогенных экосистемах в процессе естественного лесовосстановления // Почвоведение. 2020. № 2. С. 230–243.
22. Телеснина В.М. Динамика свойств почв южной тайги в ходе постагрогенного лесовосстановления при разных типах сельскохозяйственного использования // Почвы в биосфере: Сб. материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10–14 сентября. Ч. 2. Новосибирск: ТГУ, 2018. С. 159–163.
23. Wang B., Liu G.B., Xue S., Zhu B. Changes in soil physicochemical and microbiological properties during natural succession on abandoned farmland in the Loess Plateau // Environmental Earth Sciences. 2011. № 5. P. 915–925.
24. Дубровина И.А., Мошкина Е.В., Сидорова В.А. и др. Влияние типа землепользования на свойства почв и структуру экосистемных запасов углерода в среднетаёжной подзоне Карелии // Почвоведение. 2021. № 11. С. 1392–1406.
25. Курганова И.Н., Телеснина В.М., Лопес Де Гереню В.О. и др. Динамика пулов углерода и биологической активности агродерново-подзолов южной тайги в ходе постагрогенной эволюции // Почвоведение. 2021. № 3. С. 287–303.
26. Комарова Т.В. Сукцессионная динамика потоков CO₂ и запасов органического углерода при зарастании залежи на дерново-палево-подзолистой почве // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина. 6–7 июня 2018 г. М.: РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. С. 584–588.
27. Wiesmeier M., Urbanski L., Hobbey E. et al. Soil organic carbon storage as a key function of soils – a review of drivers and indicators at various scales // Geoderma. 2019. V. 333. P. 149–162.
28. Zomer R.J., Bossio D.A., Sommer R., Verchot L.V. Author Correction: Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils // Sci. Rep. 2021. V. 11 (1). P. 18720. Erratum for: Sci. Rep. 2017. V. 7 (1). P. 15554.
29. Чернова О.В., Голозубов О.М., Алябина И.О., Щепаченко Д.Г. Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2021. № 3. С. 273–286.

30. *Ковриго В.П.* Почвы Удмуртской Республики. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004.
31. *Кучерин А.П.* Посевная площадь и её структура по Удмуртской Республике // Успешному развитию АПК – научное обеспечение. Т. 2. Ижевск, 2004. С. 100–109.
32. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2020 году”. Ижевск: Изд-во ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова, 2021.
33. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004.
34. *Суховеева О.Э.* Поступление органического углерода в почву с послеуборочными остатками сельскохозяйственных культур // Почвоведение. 2022. № 6. С. 737–746.
35. *Воронов А.Г.* Геоботаника. М.: Высшая школа, 1973.
36. Продуктивность травяных экосистем: справочник. М.: Изд-во МБА, 2020.
37. *Грошев Б.И., Синицын С.Г., Мороз П.И., Сеперovich Н.П.* Лесотаксационный справочник. М.: Лесная промышленность, 1980.
38. *Jackson R.B., Mooney H.A., Schulze D.E.* A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. Ecology. 1997. V. 94 (14). P. 7362–7366.
39. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980.
40. *Леднёв А.В., Дмитриев А.В.* Заращение залежных дерново-подзолистых почв как фактор современного почвообразовательного процесса // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 5. С. 28–31.
41. *Дмитриев А.В., Леднёв А.В.* Влияние периода заращения на ботанический состав и продуктивность залежных земель // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2016. № 2 (43). С. 7–12.

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК НЕИЗУЧЕННЫХ ОЗЁР СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

© 2023 г. И. С. Зверев^{a,*}, А. М. Расулова^{a,**}, С. Д. Голосов^{a,***}, С. А. Кондратьев^{a,****}

^aИнститут озераведения РАН — подразделение Санкт-Петербургского
Федерального исследовательского центра РАН, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: iliazverev@mail.ru

**E-mail: ARasulova@limno.ru

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

****E-mail: kondratyev@limno.org.ru

Поступила в редакцию 18.02.2023 г.

После доработки 22.03.2023 г.

Принята к публикации 26.03.2023 г.

В статье предложена методика оценки гидрофизических и химико-биологических характеристик неизученных малых и средних озёр (площадью до 100 км²) северных территорий России (на примере Восточной Фенноскандии) с использованием методов дистанционного зондирования и математического моделирования. Она основана на использовании одномерной модели гидротермодинамических процессов в водоёмах FLake. По данным спутниковой съёмки подстилающей поверхности определяется площадь озера, связанная частными эмпирическими зависимостями со средней глубиной, которая является входным параметром для применения модели. Кроме того, используются ряды метеозаписей стандартных измерений, получаемых по географическим координатам выбранного объекта из метеорологического реанализа семейства ERA5.

Таким образом можно оценить термические характеристики водоёма, а также рассчитать содержание растворённого кислорода в различных слоях водной массы и вероятность возникновения бескислородных условий. При этом не требуются контактные измерения, что крайне важно при исследовании труднодоступных и малоизученных северных территорий нашей страны.

Ключевые слова: Арктическая зона, озеро, дистанционные методы, зондирование Земли, математическая модель, термический и кислородный режимы, модель FLake.

DOI: 10.31857/S0869587323050110, EDN: VXEOCE

В соответствии со “Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года” (утверждена Указом Президента РФ № 645 от 26.10.2020 г.) [1] в настоящее время идёт активное освоение Арктики. Озёра — неотъемлемая часть природных ландшафтов этого региона. По данным дешифрирования спутниковых снимков на территории российской Арктики насчитывается

более 3.9 млн водоёмов, из которых около 1.4 млн имеют естественное происхождение [2]. Абсолютное большинство малых и средних озёр до сих пор остаются неизученными, главным образом из-за их труднодоступности.

Цель нашего исследования — разработка методики дистанционной оценки характеристик неизученных малых и средних озёр северных территорий нашей страны на основе методов математического моделирования с использованием имеющейся метеоинформации, данных дистанционного зондирования подстилающей поверхности и геостатистических зависимостей между морфометрическими характеристиками водоёмов рассматриваемой природной зоны. В данном случае под северными территориями понимается бореальная зона, южной границей которой для Европы (западнее 40° меридиана) является широ-

ЗВЕРЕВ Илья Сергеевич — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН. РАСУЛОВА Анна Мурадовна — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН. ГОЛОСОВ Сергей Дмитриевич — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН. КОНДРАТЬЕВ Сергей Алексеевич — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН.



Рис. 1. Природные зоны и озёра Кольско-Карельской провинции

та 50°, для Азии (восточнее 40° меридиана) — широта 40° [3].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НЕИЗУЧЕННЫХ ОЗЁР

В качестве объектов исследования были выбраны очень малые, малые (площадью 0.1–10 км²) и средние (10–100 км²) озёра (по классификации П.В. Иванова [3]) Кольско-Карельской физико-географической провинции (Восточная Фенноскандия) [4, 5] (рис. 1). В её пределах находятся три основные природные (ландшафтные) зоны [6]: тундра, северная и средняя тайга.

Среди водоёмов Кольско-Карельской провинции значительную часть составляют мелководные озёра и водохранилища со средними глубинами от 5 до 12 м [7–9] и горизонтальными размерами от нескольких сотен метров до нескольких километров. Одна из основных особенностей таких водоёмов — существенная горизонтальная однородность поля температуры и преобладание процессов вертикального переноса тепла над адвективными. При моделировании термического режима водоёмов этого класса зачастую достаточно использовать простые одномерные модели,

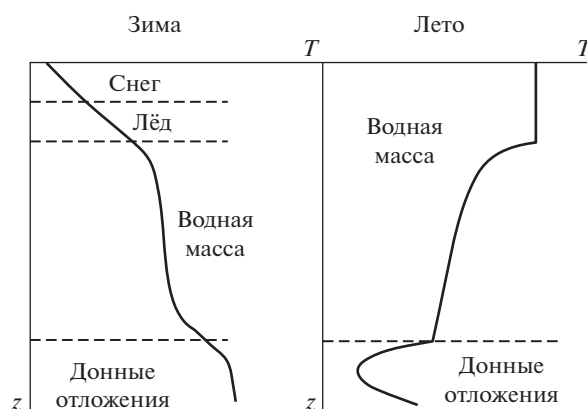


Рис. 2. Схема вертикального профиля температуры в системе “снег — лёд — водная масса — донные отложения”, реализованная в модели FLake

основанные на интегрировании уравнения вертикальной диффузии тепла и различных способах представления вертикального распределения температуры. Такие модели, как правило, не требуют задания коэффициентов вертикального турбулентного обмена, просты в реализации и удобны для проведения численных экспериментов.

Примером модели такого типа служит модель FLake, разработанная совместными усилиями сотрудников Института озероведения РАН, Института водных проблем Севера РАН, Института водной экологии и внутреннего рыбоводства Германии (IGB) и Службы погоды Германии (DWD) [10–13]. Это универсальная математическая модель гидротермодинамики озера, в которой реализованы последние мировые достижения в области физической лимнологии. На рисунке 2 схематично представлено вертикальное распределение температуры в системе “снег — лёд — водная масса — донные отложения”, временная динамика которого рассчитывается в модели.

Для оценки химико-биологических характеристик озёр модель FLake была дополнена гидро-экологическим модулем, позволяющим рассчитывать режим растворённого кислорода в озёрах [14]. Объект моделирования должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- протяжённость не должна быть настолько велика, чтобы породить значительные климатические различия между отдельными участками акватории, и не настолько мала, чтобы вторичная ветровая циркуляция играла существенную роль;
- дно должно быть более или менее ровным и горизонтальным, чтобы его можно было аппроксимировать горизонтальной плоскостью;
- адвективные процессы не должны вносить значительного вклада в турбулентное перемешивание.

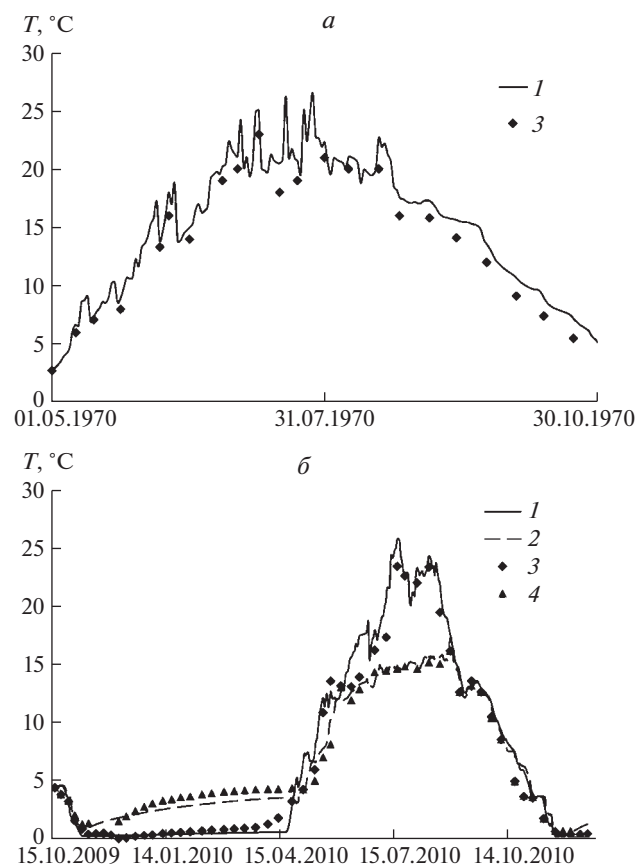


Рис. 3. Измеренные и рассчитанные значения поверхностной (T_s) и придонной (T_b) температуры воды в озёрах Красном (а) и Вендюрском (б)
1 – рассчитанная поверхностная температура; 2 – рассчитанная придонная температура; 3 – измеренная поверхностная температура; 4 – измеренная придонная температура

Модель FLake верифицирована по данным многолетних натурных наблюдений на многочисленных разнотипных озёрах мира, в частности, расположенных в пределах Восточной Фенноскандии – озёрах Красном (60°33' с.ш., 29°42' в.д., площадь 9 км², средняя глубина 7 м) и Вендюрском (62°10' с.ш., 33°10' в.д., площадь 10.4 км², средняя глубина 5.5 м) [15, 16]. В качестве примера на рисунке 3 представлено сравнение рассчитанных с помощью FLake и измеренных значений поверх-

Таблица 1. Уравнения для приближённой оценки средней глубины озера h_{avg} (м) в зависимости от его площади F_0 (км²) в различных природных зонах [6]

Природная зона	Граничное условие	Расчётная формула
Тундра	$F_0 \leq 10^7 \text{ км}^2$	$h_{avg} = 2.63 \cdot F_0^{0.16}$
Северная тайга	$F_0 \leq 200 \text{ км}^2$	$h_{avg} = 4.22 \cdot e^{0.01 \cdot F_0}$
Средняя тайга	$F_0 \leq 10^4 \text{ км}^2$	$h_{avg} = 5.25 \cdot F_0^{0.21}$

ностной (T_s) и придонной (T_b) температуры воды в указанных озёрах, подтверждающее адекватность модели процессов теплопереноса в водной массе.

Для дистанционной оценки характеристик озера с использованием модели FLake необходимо иметь географические координаты объекта, его среднюю глубину (или площадь, по которой можно вычислить глубину) и привязанные к ним данные метеорологического реанализа семейства ERA5. Реанализ ERA5, выполненный в Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды [17], представляет собой ряды восстановленных величин метеорологических параметров для всего земного шара начиная с 1940 г. по настоящее время с пространственным разрешением 0.25° × 0.25° и временным шагом 1 ч. Он основан на данных наблюдений со спутниковых СВЧ-радиометров, различных метеостанций, метеобуёв, беспилотных аэростатов и наземных радаров. Временной шаг между сроками наблюдений составляет 6 ч. Выборка необходимых для расчётов данных производится по координатам расчётной точки.

Информацию о площадях озёр можно получать различными дистанционными методами. Наиболее приемлемым в рамках настоящей работы способом определения площади водоёма стало дешифрирование спутниковых снимков. При решении задачи дистанционной оценки характеристик неизученных озёр в годы различной водности применимы каталоги данных Global Surface Water (GSW) [18, 19], полученных на основе проекта Copernicus¹ [20], и снимков со спутников Landsat с 1984 по 2021 г. Пространственное разрешение всех каталогов GSW составляет 30 м.

Вопросам поиска территориально общих взаимосвязей между такими морфометрическими характеристиками озёр, как площадь и глубина, уделяется определённое внимание в работах отечественных [21, 6, 22] и зарубежных [23] специалистов. В нашем исследовании использованы расчётные зависимости для оценки средней глубины озера на основе его площади в различных природных зонах бореальной области Евразии, представленные в таблице 1.

Совершенствование территориально общих взаимосвязей между морфометрическими характеристиками озёр различных природных зон –

¹ Программа дистанционного зондирования Земли, цель которой – обеспечение глобальных, непрерывных, автономных и высококачественных возможностей для наблюдений Земли в широком спектральном диапазоне. Охватывает следующие основные категории: атмосфера, морская среда, поверхность земли, климат, чрезвычайные ситуации и безопасность. Все полученные данные, космические снимки и основанные на них информационные продукты находятся в открытом доступе для всех категорий пользователей.

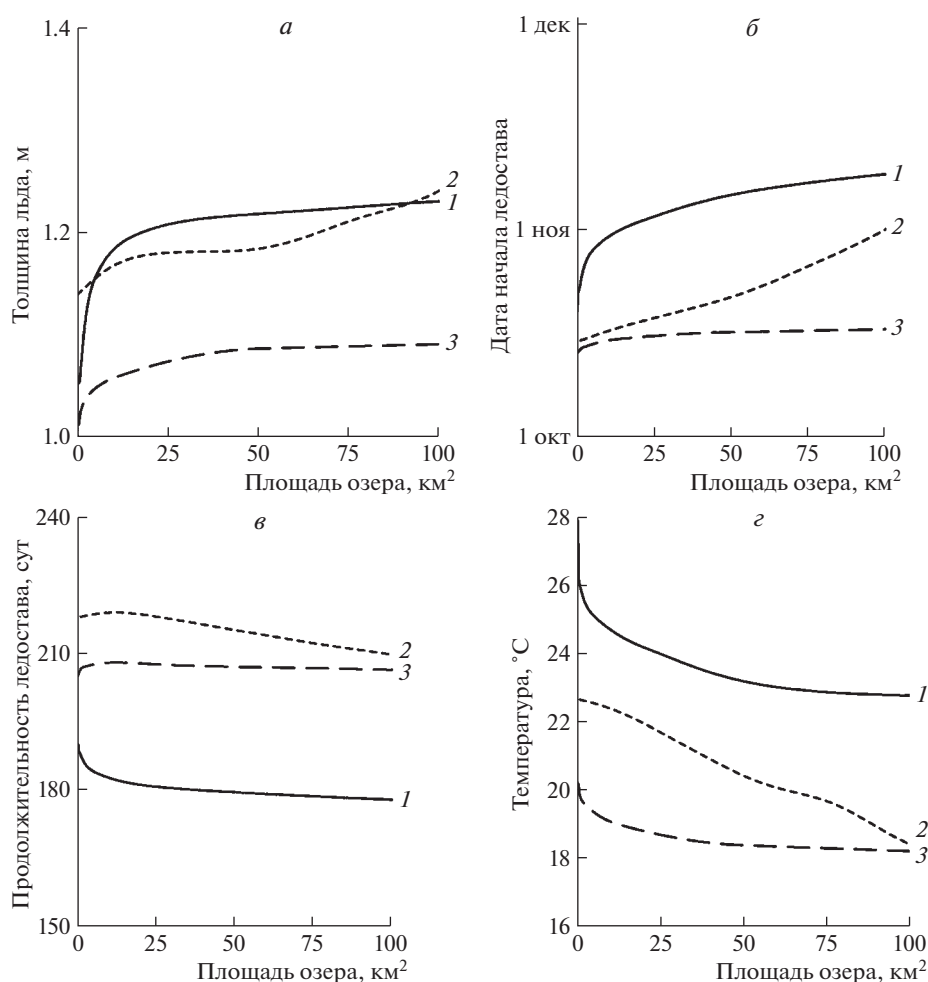


Рис. 4. Номограммы для приближённой оценки максимальной толщины льда (а), даты образования льда (б), продолжительности ледостава (в) и максимальной температуры поверхности воды (г) в зависимости от площади озера в зонах тундры, северной и средней тайги
1 – средняя тайга; 2 – северная тайга; 3 – тундра

одно из важных направлений развития методов дистанционной оценки неизученных озёрных экосистем.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчёты термических характеристик озёр и содержания в водной массе растворённого кислорода выполнялись для трёх точек, расположенных на 32° меридиане в пределах зон тундры (67°30' с.ш., 32°00' в.д.), северной (65°00' с.ш., 32°00' в.д.) и средней (62°30' с.ш., 32°00' в.д.) тайги с использованием привязанных к ним данных метеорологического реанализа семейства ERA5.

По результатам проведённых расчётов построены номограммы, связывающие термические характеристики (максимальная толщина ледяного покрова, продолжительность периода замерзания и максимальная температура поверхностного слоя воды) малых и средних озёр различных при-

родных зон (тундры, северной и средней тайги) Восточной Фенноскандии со значениями их площадей (рис. 4). Расчёты производились с использованием усреднённых за 30-летний период (с 1990 по 2020 г.) метеорологических параметров.

В первом приближении принимается, что гидрометеорологические входные параметры не изменяются в пределах рассматриваемой природной зоны. При этом следует помнить, что построить оценочные номограммы для других географических координат с использованием соответствующих данных гидрометеорологического реанализа на основе результатов расчётов по FLake не составляет большого труда. Аналогичные графики могут быть построены и для таких гидротермодинамических характеристик, как температура и толщина верхнего перемешанного слоя в озере, теплообмен через границу раздела вода–дно, степень подлёдного прогрева водоёма, толщина слоя сезонного протаивания многолет-

немёрзлых грунтов (вечной мерзлоты) при их наличии и т.д.

Первый шаг при переходе от вычисления термических параметров озёр к решению задачи дистанционной оценки их экологического состояния — расчёт характеристик кислородного режима и выявление перспектив возникновения анаэробных зон, формирующихся в условиях острого дефицита растворённого в воде кислорода. В этих зонах активизируются анаэробные процессы, приводящие к образованию метана (CH_4), сероводорода (H_2S) и аммиака (NH_3), которые не только ухудшают качество озёрной водной массы, но и могут быть токсичными для гидробионтов (особенно H_2S).

На рисунке 5, *а* представлена внутригодовая динамика средней толщины анаэробной зоны в озёрах разной площади (и соответствующей глубины) в зоне средней тайги, рассчитанной по модели FLake. Рисунок 5, *б* иллюстрирует уменьшение максимальной толщины анаэробной зоны для озёр площадью 0.1, 1 и 15 км² в зависимости от географической широты в пределах той же зоны.

Как показали проведённые расчёты, риск формирования анаэробных зон в водоёмах Восточной Фенноскандии наиболее вероятен в малых озёрах (до 10 км²) средней тайги. Для озёр больших площадей существование анаэробной зоны не выявлено. Возрастание географической широты места расположения озера также ведёт к снижению вероятности возникновения в нём бескислородных условий. Так, в тундре при любых площадях водоёмов анаэробная зона в них не образуется, что обусловлено низкой температурой воды, снижающей скорость потребления кислорода в процессе бактериального разложения органического вещества.

Полученные результаты не противоречат данным более ранних исследований кислородного режима Восточной Фенноскандии [24, 25], которые свидетельствуют о том, что в силу географического положения, климатических условий, а также специфического характера формирования водного баланса (прежде всего его приходной части²) в озёрах, расположенных севернее 67°–68° с.ш., дефицит растворённого кислорода — явление крайне редкое и носит локальный характер. Формирование же бескислородных зон в таких озёрах практически не отмечалось.

Таким образом, основным результатом нашего исследования стала методика приближённой, полностью дистанционной оценки характеристик термического и кислородного режимов не-

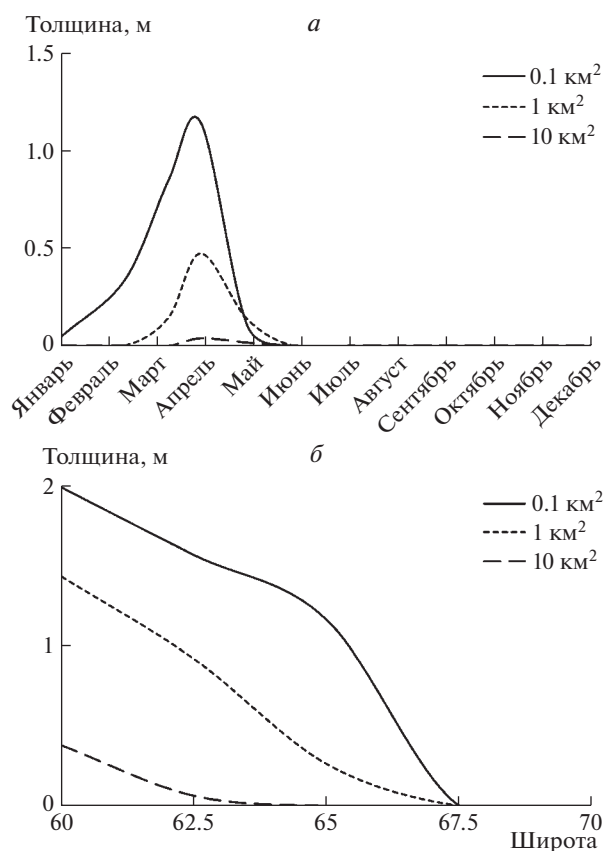


Рис. 5. Внутригодовая динамика средней толщины анаэробной зоны в озёрах разной площади в средней тайге (*а*), а также максимальная толщина анаэробной зоны для озёр различной площади в зависимости от географической широты (*б*)

изученных озёр серверных территорий. Главным инструментом для выполнения такого рода оценки служит одномерная математическая модель гидротермодинамики озера FLake в совокупности с имеющейся информацией метеорологического реанализа в изучаемом регионе и известными территориально общими зависимостями средней глубины озера от его площади. Даже при отсутствии доступа к модели любой водопользователь, заинтересовавшийся озером с известными географическими координатами и оценивший площадь его поверхности, может на основании полученных в результате моделирования номограмм провести приближённую оценку термических свойств водоёма (продолжительность ледостава, толщина льда, температура поверхностного слоя воды, наличие или отсутствие бескислородной зоны и др.), а также характеристик кислородного режима. Необходимо отметить, что при условии дополнения модели FLake соответствующими программными модулями по приведённой выше методике могут быть оценены и другие химико-биологические показатели, например, биомасса, первичная продукция водорослей, про-

² Приходная часть водного баланса озера складывается из поступления поверхностного и подземного стока с озёрного водосбора и атмосферных осадков, выпадающих на поверхность самого озера.

зрачность воды. При этом, как упоминалось выше, не потребуются сложно реализуемых контактных измерений, что крайне важно для труднодоступных и малоизученных северных территорий России.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам FMNG-2019-0001 “Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоёмов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов” (№ госрегистрации AAAA-A19-119031890106-5) и FMNG-2019-0004 “Закономерности распределения озёр по территории Евразии и оценка их водных ресурсов” (№ госрегистрации AAAA-A19-119031990011-1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. <http://kremlin.ru/acts/news/64274> (дата обращения 01.02.2023).
2. Измайлова А.В. Озёрный фонд Арктической зоны Российской Федерации // MGO 2020 им. Л.Н. Карлина. Труды IV Всероссийской конференции “Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития”. 16–17 декабря. СПб.: Химиздат, 2020. С. 181–184.
3. Мякишева Н.В. Многокритериальная классификация озёр. СПб.: РГГМУ, 2009.
4. Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Ландшафты. М.: Мысль, 1989.
5. Физико-географическое районирование (М 1 : 15000000) // Национальный атлас России. Т. 2. Природа и экология. М.: ПКО “Картография”, 2007. С. 350–351.
6. Шульга М. Представление озёр в моделях погоды и климата: внешние параметры, объективный анализ температуры поверхности воды и верификация. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. СПб.: РГГМУ, 2015.
7. Рянжин С.В., Ульянова Т.Ю. Геоинформационная система “озёра мира” – GIS WORLDLAKE // Доклады Академии наук. 2000. № 4. С. 542–545.
8. Кочков Н.В., Рянжин С.В. Озёра мира WORLDLAKE / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015621549. Заявка № 2015620713. ИНОЗ РАН, 2015.
9. Lehner B., Grill G. Global River hydrography and network routing: Baseline data and new approaches to study the world’s large river systems // Hydrological Processes. 2013. № 15. P. 2171–2186.
10. Mironov D.V. Parameterization of Lakes in Numerical Weather Prediction. Description of a Lake Model // COSMO Technical Report № 11. Offenbach am Main: German Weather Service, 2008.
11. Mironov D., Heise E., Kourzeneva E. et al. Implementation of the lake parameterization scheme Flake into the numerical weather prediction model COSMO // Boreal environ. Res. 2010. V. 15. P. 218–230.
12. Golosov S., Kirillin G. A parameterized model of heat storage by lake sediments // Environmental Modelling & Software. 2010. V. 25 (6). P. 793–801.
13. Choulga M., Kourzeneva E., Zakharova E. et al. Estimation of the mean depth of boreal lakes for use in numerical weather prediction and climate modelling // Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography. 2014. V. 66 (1). P. 21295.
14. Golosov S., Maher O.A., Schipunova E. et al. Physical Background of Oxygen Depletion Development in Ice-Covered Lakes // Oecologia. 2007. V. 151. P. 331–340.
15. Mironov D.V., Golosov S.D., Zilitinkevich S.S. et al. Seasonal changes of temperature and mixing conditions in a lake. Modelling Air-Lake Interaction. Physical Background / Ed. S.S. Zilitinkevich. Berlin: Springer-Verlag, 1991. P. 74–90.
16. Терзевик А.Ю., Пальшин Н.И., Голосов С.Д. и др. Гидрофизические аспекты формирования кислородного режима мелководного озера, покрытого льдом // Водные ресурсы. 2010. № 5. С. 568–580.
17. Copernicus Climate Data Store. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5> (дата обращения 02.02.2023).
18. Pekel J.F., Cottam A., Gorelick N. et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // Nature. 2016. V. 540. P. 418–422.
19. Global Surface Water Explorer. <https://global-surface-water.appspot.com/> (дата обращения 01.02.2023).
20. Copernicus: Europe’s eyes on Earth. <https://www.copernicus.eu/en>
21. Кочков Н.В., Рянжин С.В. Методика оценки морфометрических характеристик озёр с использованием спутниковой информации // Водные ресурсы. 2016. № 1. С. 18–23.
22. СТО ГГИ 52.08.40–2017. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам РФ и спутниковым снимкам // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). СПб.: ООО “РПЦ Офорт”, 2017.
23. Messenger M., Lehner B., Grill G. et al. Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach // Nat. Commun. 2016. V. 7 (1). 13603.
24. Озёра различных ландшафтов Кольского полуострова. Ч. 2. Гидрохимия и гидробиология / Отв. ред. В.Г. Драбкова и Т.Д. Слепухина. Л.: Наука, 1974.
25. Даувальтер В.А., Кашулин Н.А. Геоэкология озёр Мурманской области. В 3 ч. Ч. 2. Гидрохимия водоёмов. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2014.

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

ВЛИЯНИЕ МЕР СОЦИАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ КАДРАМИ

© 2023 г. О. В. Ходакова^{a,*}, Л. В. Руголь^{a,**}, И. А. Соломатников^{a,***},
И. О. Камаева^{a,****}, И. А. Деев^{a,*****}, О. С. Кобякова^{a,*****}

^aЦентральный НИИ организации и информатизации здравоохранения Минздрава России,
Москва, Россия

*E-mail: khodakovaov@mednet.ru

**E-mail: rugol@mednet.ru

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

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

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

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

Поступила в редакцию 30.03.2023 г.

После доработки 05.04.2023 г.

Принята к публикации 10.04.2023 г.

Внимание к мерам социальной поддержки медицинского персонала в субъектах Российской Федерации обусловлено одной из главных задач в развитии региональных систем здравоохранения — обеспечением их квалифицированными медицинскими кадрами. Для совершенствования кадровой политики в соответствии с законодательством разработан перечень основных и дополнительных мер поддержки врачебного и среднего медицинского персонала в субъектах РФ. Кроме того, ведётся мониторинг осуществления этих мер, благодаря чему стали доступны данные для анализа. Авторы оценивают воздействие мер социальной поддержки медицинских работников на уровень кадрового обеспечения в субъектах, что может представлять определённый интерес при формировании наиболее эффективного комплекса мер.

Ключевые слова: здравоохранение, кадровое обеспечение, меры социальной поддержки, эффективность, индекс кадрового благополучия, мониторинг, медицинский персонал.

DOI: 10.31857/S0869587323050055, **EDN:** VWBXSW

Обеспечение системы здравоохранения квалифицированными медицинскими кадрами — по-прежнему одна из ключевых задач, решение которой выступает условием для оказания доступной и качественной медицинской помощи

ХОДАКОВА Ольга Владимировна — доктор медицинских наук, начальник отдела научных организаций здравоохранения ЦНИИОИЗ Минздрава России. РУГОЛЬ Людмила Валентиновна — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник ЦНИИОИЗ Минздрава России. СОЛОМАТНИКОВ Иван Алексеевич — главный специалист организационного отдела ЦНИИОИЗ Минздрава России. КАМАЕВА Ирина Олеговна — младший научный сотрудник отдела научных основ организации здравоохранения ЦНИИОИЗ Минздрава России. ДЕЕВ Иван Анатольевич — доктор медицинских наук, заместитель директора по организации здравоохранения ЦНИИОИЗ Минздрава России. КОБЯКОВА Ольга Сергеевна — доктор медицинских наук, директор ЦНИИОИЗ Минздрава России.

населению России. Помимо дефицита врачебного и среднего медицинского персонала, вторым важным аспектом проблемы является кадровый дисбаланс [1], характеризующийся неравномерным уровнем обеспеченности медицинским персоналом в федеральных округах, субъектах РФ, медицинских организациях, расположенных в городской и сельской местности, оказывающих медицинскую помощь в амбулаторных и стационарных условиях [2].

В рамках совершенствования кадровой политики [3, 4], направленной на привлечение и удержание медицинских кадров (прежде всего в сельских населённых пунктах [5]), Министерство здравоохранения РФ проводит системную работу, которая включает мероприятия как Федерального проекта «Обеспечение медицинских организаций системы здравоохранения квалифицированными кадрами», так и отдельных целевых

программ, таких как “Земский доктор” и “Земский фельдшер” [6]. Наряду с мероприятиями федерального уровня важными факторами, способствующими повышению обеспеченности медицинским персоналом, выступают региональные программы кадрового развития государственных органов управления в сфере здравоохранения субъектов РФ, включающие в том числе перечень мер социальной поддержки медицинских работников, а также меры социальной поддержки, предоставляемые органами местного самоуправления [7, 8].

Во исполнение Указа Президента РФ от 07.05.2012 г. № 598 “О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения” Правительством РФ был утверждён комплекс мер по обеспечению системы здравоохранения Российской Федерации медицинскими кадрами (распоряжение от 15.04.2013 г. № 614-р) [9, 10]. Этот документ послужил основанием для разработки перечня основных и дополнительных мер социальной поддержки врачебного и среднего медицинского персонала в субъектах РФ, а также для осуществления ежеквартального мониторинга их реализации, ведение которого обеспечивает Центральный НИИ организации и информатизации здравоохранения Минздрава России (ЦНИИОИЗ Минздрава России)¹.

Перечень основных мер включает девять унифицированных мероприятий, которые могут осуществляться на территории каждого региона. Этот перечень не регламентирован на федеральном уровне и наполнен рядом детализированных мероприятий, принятых в качестве дополнительного объёма социальной помощи на территории отдельных субъектов при наличии средств регионального бюджета [11].

Цель нашего исследования — оценка влияния мер социальной поддержки медицинских работников на уровень кадрового обеспечения в субъектах Российской Федерации. В соответствии с целью были определены следующие задачи:

- проанализировать перечень и объём мер социальной поддержки медицинских работников в субъектах РФ;
- оценить перечень дополнительных мер по ключевым направлениям, способствующим повышению кадрового обеспечения;
- оценить влияние объёма и наполнения мер на показатели кадрового обеспечения и индекс кадрового благополучия в субъектах.

Материалы и методы. Для анализа мер социальной поддержки медицинских работников изучались сведения по 84 субъектам РФ, содержащи-

еся в данных “Мониторинга оценки эффективности кадровой обеспеченности медицинских организаций субъектов Российской Федерации” (далее — мониторинг) за первые 9 месяцев 2022 г. Мониторинг проводится в соответствии с подпунктом “г” пункта 2 Указа Президента РФ от 07.05.2012 г. № 598 “О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения” совместно с органами исполнительной власти субъектов РФ.

Для оперативного сбора сведений о выполнении региональных кадровых программ субъектов за счёт программно-аппаратных ресурсов ЦНИИОИЗ Минздрава России сформирован модуль “Кадры” автоматизированной системы мониторинга медицинской статистики (АСММС). Система развёрнута на сервере приложений под управлением Windows Server 2008 с применением системы управления базами данных MS SQL Server. База данных, используемая для хранения собираемых сведений, спроектирована на основе многомерной модели данных.

Для получения полной и единообразной информации от субъектов о реализации ими дифференцированных мер социальной поддержки медицинских работников, в первую очередь наиболее дефицитных специальностей, по разделам программ разработаны шаблоны, таблицы и алгоритмы их заполнения. Предоставление сведений субъектами осуществляется с периодичностью один раз в квартал. В 2022 г. в мониторинге не участвовали Москва, Донецкая и Луганская Народные Республики, Херсонская и Запорожская области.

При оценке принятых мер и их объёма использовались абсолютные и интенсивные показатели, рассчитанные на 10 тыс. населения и 10 тыс. соответствующей категории медицинского персонала, удельный вес и амплитуда значений данных показателей. Для оценки кадрового обеспечения в субъектах рассчитан интегральный коэффициент — индекс кадрового благополучия (ИКБ) [12]. В качестве источника приняты данные, содержащиеся в форме федерального статистического наблюдения № 30 “Сведения о медицинской организации” по стране за 2021 г. Методика расчёта ИКБ состояла из трёх этапов:

- расчёт фактических показателей, характеризующих уровень обеспеченности населения субъекта врачебным персоналом, и показателей укомплектованности;
- путём сопоставления фактических показателей субъекта со средними по России рассчитаны субиндексы по единой формуле:

$$I_i = \frac{x_i}{x} \quad i \in [1; n],$$

¹ См. письмо Минздрава России руководителям управления здравоохранения субъектов Российской Федерации от 23.10.2014 г. № 16-5-12/41.

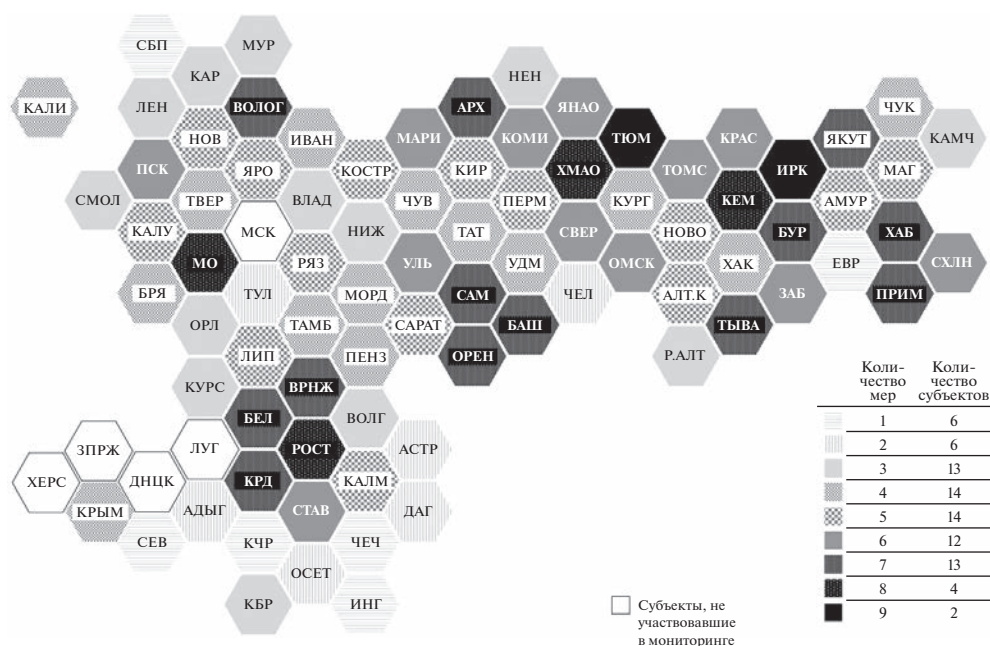


Рис. 1. Объем основных мер социальной поддержки врачей в субъектах РФ

где I_i — субиндекс i -го фактического показателя; x_i — значение i -го фактического показателя в субъекте; $\bar{x}$ — среднее значение i -го фактического показателя в России; n — количество фактических показателей уровня обеспеченности населения врачебным персоналом;

- расчёт ИКБ по формуле:

$$I = \sqrt[n]{I_1 * I_2 * \dots * I_n}$$

Для формирования групп субъектов, имеющих схожие показатели кадровой обеспеченности, проводилась двумерная кластеризация методом k -средних, где первым измерением было количество основных мер, реализуемых в субъекте, а вторым — индекс кадрового благополучия. Кроме того, проводился анализ корреляционной связи для следующих пар показателей:

- количество основных мер в субъекте — ИКБ;
- количество основных мер в субъекте — обеспеченность врачами в субъекте на 10 тыс. населения;
- ИКБ — обеспеченность врачами в субъекте на 10 тыс. населения.

При оценке связи между рядами данных использовались коэффициенты корреляции Пирсона (r) с определением уровня статистической значимости различий при помощи t -критерия Пирсона. Для наглядности представления результатов исследования составлены картограммы, а также диаграмма рассеяния для кластеризации.

Результаты. Проведение анализа на основании данных мониторинга на первом этапе предпола-

гало оценку фактического набора мероприятий в рамках осуществления основных мер социальной поддержки на территории каждого субъекта Российской Федерации отдельно для врачебного и среднего медицинского персонала (рис. 1, 2). Полученные данные свидетельствуют, что максимально возможное количество принятых в течение 2022 г. мер зарегистрировано только в двух субъектах — Тюменской и Иркутской областях. Среднее количество мер составило от 4 до 5 из общего возможного набора мероприятий (по 13–14 регионов для соответствующего числа мер). Установлены регионы, в которых число реализуемых мероприятий было минимальным: Еврейская АО, Курганская область, Карачаево-Черкесская Республика.

Далее были проанализированы количество и удельный вес субъектов, обеспечивающих меры социальной поддержки медицинских работников из основного перечня (табл. 1). Количественная оценка этих мер показала, что на первом месте по частоте предоставления находится компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг. Эта мера осуществляется в 75 субъектах РФ, или в 89.3% регионов, принимающих участие в мониторинге. Достаточно часто (в 84.5% от общего числа регионов) врачебному персоналу предоставляется служебное жилье, что также входит в перечень основных мер социальной поддержки. Наименьшее число субъектов безвозмездно предоставляет земельные участки под строительство (21.4%) и позволяет приватизировать слу-

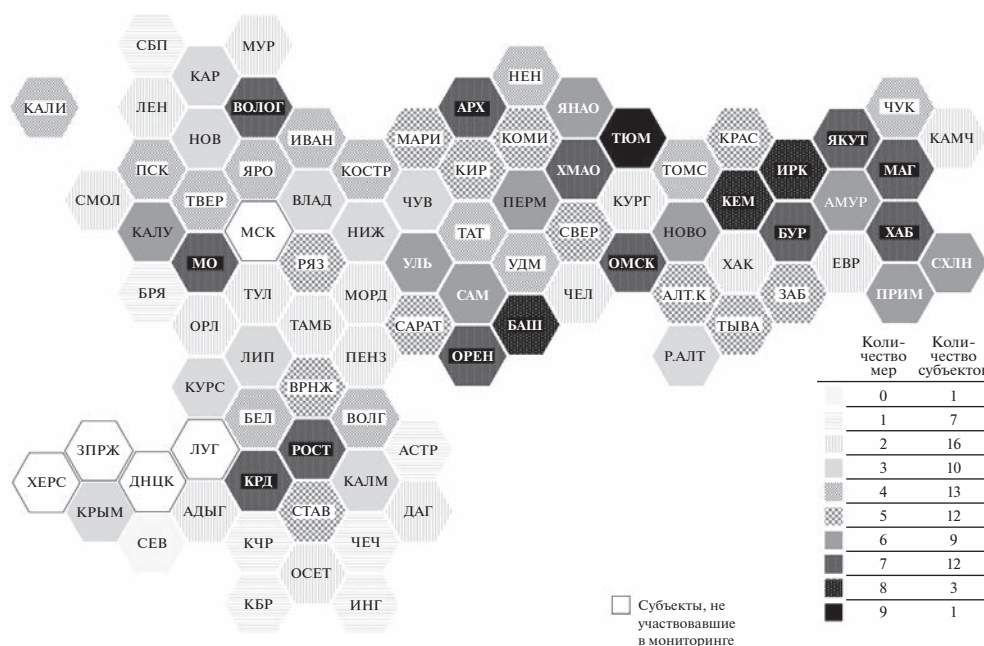


Рис. 2. Объём основных мер социальной поддержки среднего медицинского персонала в субъектах РФ

жебное жильё с возможностью передачи его в собственность после 10 лет работы (20.2%).

Для объективного сопоставления объёма основных мер социальной поддержки в субъектах РФ рассчитано соотношение числа тех или иных мероприятий на 10 тыс. человек врачебного персонала для каждого региона. Максимальное значение также показала частота компенсации расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг (955.6 на 10 тыс. человек). На втором месте — компенсация расходов на аренду жилого помещения (256.3 на 10 тыс. человек). С учётом того, что абсолютное число реализованных в каждом субъекте мероприятий из основного перечня имело выраженную вариабельность, в таблице 1 приведены минимальные и максимальные значения частоты предоставления каждой меры на 10 тыс. человек, которые существенно отличаются по регионам.

Анализ количества и объёма принятых мер проведён также для категории среднего медицинского персонала (табл. 2). Объём мер аналогичен данным по врачебному персоналу. Так, наибольшее число субъектов (77 регионов, или 91.7% от общего числа регионов, охваченных мониторингом) компенсирует расходы на оплату жилищно-коммунальных услуг. Минимальное количество субъектов обеспечивает безвозмездное предоставление земельного участка для строительства или приобретения жилья и возможность приватизации служебного жилья после 10 лет работы (16.7 и 11.9% регионов соответственно). Частота реализуемых мер в расчёте на 10 тыс. человек так-

же неоднородна. Если компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг составляет 1409.4 на 10 тыс. человек, то приватизация служебного жилья — 1 на 10 тыс., что говорит об отсутствии системности в осуществлении данных мер. Минимальная и максимальная частота предоставления мер в субъектах также имеет кратные отличия по числовому выражению на 10 тыс. человек.

Общий перечень дополнительных мер социальной поддержки врачебного и среднего медицинского персонала, представленный в мониторинге субъектами РФ, имел выраженную вариабельность как по содержанию, так и по объёму проведения. В этой связи весь имеющийся перечень экспертным путём был структурирован в шесть групп по ключевым направлениям: единовременные выплаты, жилищные выплаты (аренда, ремонт, коммунальные платежи), доплата за наставничество и обучение, регулярные выплаты, компенсация проезда до работы, выплаты для оздоровления или отпуска.

Наибольший набор дополнительных мер был получен по направлению “единовременные выплаты” (10 вариантов); наименьший — по направлению “компенсация проезда до работы” (два варианта доплат в виде компенсации проезда в общественном транспорте и возмещения стоимости горюче-смазочных материалов при использовании медицинским работником личного автомобиля).

Для оценки объёма дополнительных мер социальной поддержки в рамках региональных про-

Таблица 1. Реализация основных мер социальной поддержки врачебного персонала в субъектах РФ

Меры социальной поддержки	Абсолютное количество субъектов, реализующих меру	Удельный вес от общего числа регионов, участвующих в мониторинге, %	Min/max количество людей, получивших поддержку в регионе	Значение показателя на 10 тыс. человек врачебного персонала	Min и max значение на 10 тыс. человек врачебного персонала
Компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг	75	89.3	1–6810	955.6	1.2–11 044.4
Предоставление служебного жилья	71	84.5	1–469	77.4	1.1–636.9
Компенсация расходов на аренду жилого помещения	69	82.1	2–3308	256.3	6.3–2515.9
Предоставление детям медицинских работников в первоочередном порядке мест в дошкольных образовательных организациях	42	50	1–567	29	1.1–514.4
Предоставление жилых помещений людям из числа нуждающихся в улучшении жилищных условий по договору социального найма	42	50	1–43	11.6	1.1–86.4
Предоставление льготного ипотечного кредитования	35	41.7	1–173	29.5	1.9–581.9
Предоставление места в общежитии	25	29.8	1–72	29.5	0.8–2293
Безвозмездное предоставление земельного участка для строительства/приобретения жилья	18	21.4	1–906	8.4	0.8–359.6
Приватизация служебного жилья с возможностью передачи его в собственность после 10 лет работы	17	20.2	1–19	2.7	1.1–61.7

грамм кадрового развития определены следующие основные параметры:

- количество субъектов РФ, обеспечивающих реализацию мероприятий по данному ключевому направлению, и их удельный вес от общего числа субъектов, участвующих в мониторинге;
- количество лиц из числа врачебного и среднего медицинского персонала в субъекте, получивших тот или иной тип социальной поддержки по данному направлению.

Для объективности оценки и возможности сопоставления количественных показателей рассчитана частота принятия мер на 10 тыс. человек врачебного или среднего медицинского персонала с учётом их среднего, минимального и максимального значения. Полученные результаты сопоставимы по объёму дополнительных мер по

ключевым направлениям для обеих групп работников и представлены на примере категории врачебного персонала (табл. 3). Так, большинство дополнительных мер составили единоразовые выплаты, включённые в региональные программы кадрового развития 44 субъектов РФ, или в 52.4% от общего числа регионов, участвующих в мониторинге. При этом количество врачей, получивших дополнительные единоразовые выплаты, колебалось от 2 до 8602 человек в регионе. Средняя частота принятия меры – 182.56 на 10 тыс. человек, минимальное и максимальное значения – 4.4 и 6358 на 10 тыс. соответственно, что свидетельствует о выраженной неоднородности региональных программ.

В наименьшем объёме осуществлялись компенсация проезда до работы и выплаты для оздо-

Таблица 2. Реализация основных мер социальной поддержки среднего персонала в субъектах РФ

Меры социальной поддержки	Абсолютное количество субъектов, реализующих меру	Удельный вес от общего числа регионов, участвующих в мониторинге, %	Min/max количество людей, получивших поддержку в регионе	Значение показателя на 10 тыс. человек среднего медперсонала	Min и max значение на 10 тыс. человек среднего медперсонала
Компенсация расходов на оплату жилищно-коммунальных услуг	77	91.7	14–12907	1409.4	3.2–12061.5
Предоставление служебного жилья	58	69	1–101	10.4	0.4–138
Компенсация расходов на аренду жилого помещения	57	67.9	1–4409	86.9	0.5–1194.6
Предоставление детям медицинских работников в первоочередном порядке мест в дошкольных образовательных организациях	35	41.7	1–355	9.5	0.3–201.9
Предоставление жилых помещений людям из числа нуждающихся в улучшении жилищных условий по договору социального найма	35	41.7	1–37	3.1	0.5–63.6
Предоставление льготного ипотечного кредитования	30	35.7	1–253	10.9	0.3–342.3
Предоставление места в общежитии	36	42.9	1–140	12.1	0.5–751.5
Безвозмездное предоставление земельного участка для строительства/приобретения жилья	14	16.7	1–127	3.4	0.3–185.1
Приватизация служебного жилья с возможностью передачи его в собственность после 10 лет работы	10	11.9	1–41	1	0.4–59.7

ровления (лишь в пяти субъектах – 6% от участвующих в мониторинге). При этом количество людей из врачебного персонала, получивших какую-либо дополнительную поддержку в рамках данных ключевых направлений в течение 2022 г., составило от 1 до 2050. Частота реализации дополнительных мер по указанным направлениям – 9.32 и 56.84 на 10 тыс. человек соответственно.

Важный аспект нашего исследования – установление взаимосвязи между объемом выполненных мер в регионе и показателями кадрового обеспечения. Для оценки сопряженности обеспеченности медицинскими кадрами на 10 тыс. населения и интегрального индекса кадрового благополучия в субъекте РФ рассчитан коэффициент корреляции, значение которого ($r = 0.75$) свидетельствует о наличии прямой сильной связи ($p \leq$

≤ 0.05) между данными показателями. Вследствие этого для оценки влияния объема мер мы использовали интегральный индекс кадрового благополучия, при расчете которого учитывались все количественные показатели кадровой ситуации в регионе. На основании полученного значения коэффициента корреляции ($r = 0.03$, $p \leq 0.05$) установлено отсутствие статистически значимой зависимости между данными параметрами.

С учетом медианного значения ИКБ (0.8 в 2021 г.) и среднего показателя реализуемых основных мер социальной поддержки (больше или меньше пяти мер от общего возможного их числа в субъекте) методом кластерного анализа (k-средних) выделено три возможных сочетания объема мер и значения ИКБ как результирующего показателя, характеризующего степень благополучия кадровой

Таблица 3. Реализация дополнительных мер социальной поддержки врачебного персонала в субъектах РФ

Ключевые направления дополнительных мер социальной поддержки	Абсолютное количество субъектов, реализующих меру	Удельный вес от общего числа регионов, участвующих в мониторинге, %	Min/max количество людей, получивших поддержку в регионе	Значение показателя на 10 тыс. человек врачебного персонала	Min и max значение на 10 тыс. человек врачебного персонала
Единоразовые выплаты	44	52.4	2–8602	182.56	4.4–6358
Регулярные выплаты	38	45.2	3–22 223	3272.4	8.1–8096.3
Жилищные выплаты (аренда, ремонт, коммунальные платежи)	19	22.6	1–692	41.17	2.9–1899.7
Доплаты за обучение/наставничество	15	17.9	12–1371	242.37	25.4–3589.9
Компенсация проезда до работы	5	6	3–142	9.32	3.3–342.8
Выплаты для оздоровления/отпуска	5	6	1–2050	56.84	1.0–2385.8

ситуации в соответствующем субъекте. Наиболее многочисленный по количеству субъектов ($n = 44$) кластер отличается наличием в субъекте ≥ 5 принятых мер и значением ИКБ ≥ 0.8 . Второй по численности кластер представлен 39.3% регионов, участвующих в мониторинге ($n = 33$), где количество мер было ≤ 5 , но при этом значение ИКБ ≥ 0.8 . Третий вариант кластера ($n = 5$) включал субъекты с наименьшим количеством мер (< 5) и, соответственно, ИКБ ниже медианного по стране (ИКБ ≤ 0.8).

* * *

Анализ, проведенный на основании данных мониторинга реализации мер социальной поддержки медицинских работников, позволил продемонстрировать выраженную вариабельность их фактического числа и объёма в разных субъектах Российской Федерации. Из 10 основных мер в среднем выполняются 4–5. Перечень дополнительных мер, определённых законодательством субъектов РФ, крайне разнообразен, в связи с чем экспертным путём выделены шесть ключевых направлений мер дополнительной социальной поддержки. Обращает на себя внимание кратное отличие как абсолютных числовых значений, так и частоты реализации конкретной меры на 10 тыс. человек из каждой группы работников, что свидетельствует о необходимости формирования системного подхода к осуществлению региональных программ кадрового развития.

Статистически значимой зависимости между количеством и объёмом мер социальной поддержки медицинских работников и показателями

кадрового обеспечения (обеспеченность медицинскими кадрами на 10 тыс. населения и интегральное значение ИКБ) не обнаружено, что говорит об отсутствии прямого влияния данного блока организационно-управленческих решений на кадровую ситуацию в регионе. Однако наличие косвенного влияния подтверждено результатами кластерного анализа в виде наиболее часто встречающейся комбинации мер (> 5) и значением ИКБ выше медианного (ИКБ ≥ 0.8), что требует дальнейшего изучения наиболее востребованных мер, влияющих на привлечение и удержание медицинских кадров в регионе.

Поиск эффективных мер социальной поддержки медицинских работников, дифференциация набора мероприятий в зависимости от их фактической востребованности с учётом стратификационных характеристик медицинского персонала (специальность, стаж работы, семейное положение, наличие детей) – важная отраслевая задача, способствующая устранению дефицита и дисбаланса медицинских кадров с целью обеспечения населения качественной и доступной медицинской помощью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семёнова Т.В. Медицинские кадры России. Кадровый дисбаланс и его устранение в здравоохранении // Вестник Росздравнадзора. 2019. № 4. С. 49–59.
2. Ступак В.С., Владимирова Н.Ю., Подворная Е.В., Олексенко О.В. Актуальные проблемы обеспечения кадрами акушерско-гинекологической и неонатологической служб Хабаровского края // Здравоохранение Дальнего Востока. 2015. № 1. С. 4–8.

3. Шейман И.М., Шевский В.И. Кадровая политика в здравоохранении: сравнительный анализ Российской и международной практики // Вопросы государственного и муниципального управления. 2015. № 1. С. 143–167.
4. Наваркин М.В., Конаныхина А.К., Купеева И.А. О реализации кадровой политики на уровне субъектов РФ // Здравоохранение. 2013. № 8. С. 62–66.
5. Калашников К.Н., Лихачева Т.Н. Проблемы дефицита медицинских кадров в сельских территориях // Вопросы территориального развития. 2017. № 2. С. 26–33.
6. Постановление Правительства РФ от 26.12.2017 г. № 1640 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Развитие здравоохранения”», приложение 5.
7. Тарасенко Е.А., Хорева О.Б. Экономическое стимулирование для устранения дефицита медицинских кадров в сельских территориях // Вопросы государственного и муниципального управления. 2016. № 4. С. 117–142.
8. Сон И.М., Меньшикова Л.И., Флегнер Н.А. и др. Роль органов местного самоуправления в решении проблем обеспечения медицинскими кадрами первичного звена здравоохранения // Менеджер здравоохранения. 2021. № 1. С. 54–63.
9. Указ Президента РФ от 07.05.2012 г. № 598 “О совершенствовании государственной политики в сфере здравоохранения”.
10. Распоряжение Правительства РФ от 15.04.2013 г. № 614-р “Об утверждении Комплекса мер по обеспечению системы здравоохранения РФ медицинскими кадрами до 2018 г.”
11. Сон И.М., Сененко А.Ш., Меньшикова Л.И. Оценка результативности мер социальной поддержки медицинских работников в медицинской организации. Учебно-методическое пособие. М.: ЦНИИОИЗ МЗ РФ, 2020.
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022685434 “Расчёт индекса кадрового благополучия в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации”.

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ ЖИВЫ СТАНДАРТАМИ ИХ СОЗДАТЕЛЯ К 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА М.А. ЛЕОНТОВИЧА

© 2023 г. В. С. Лисица^{a,b,*}, Л. К. Кузнецова^{a,**}, А. Б. Кукушкин^{a,b,***}

^aНациональный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

^bНациональный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

*E-mail: vlisitsa@yandex.ru

**E-mail: Kuznetsova_LK@nrcki.ru

***E-mail: Kukushkin_AB@nrcki.ru

Поступила в редакцию 10.04.2023 г.

После доработки 18.04.2023 г.

Принята к публикации 22.04.2023 г.

Статья посвящена жизни и деятельности выдающегося физика-теоретика, создателя всемирно известных научных школ в радиофизике, физике плазмы и управляемом термоядерном синтезе академика Михаила Александровича Леонтовича (1903–1981). Его достижения в фундаментальной физике способствовали значительному продвижению прикладных исследований во многих областях. Уникальность научного стиля и гражданского облика М.А. Леонтовича, уроки его творческой биографии сохраняют свою значимость и сегодня, особенно для молодых учёных, являя пример бескорыстного служения науке.

Ключевые слова: М.А. Леонтович, теоретическая физика, научные школы, радиофизика, физика плазмы, управляемый термоядерный синтез.

DOI: 10.31857/S0869587323050079, EDN: VWRFLC

Вехи биографии. Михаил Александрович Леонтович родился 7 марта 1903 г. в семье профессора Киевского университета А.В. Леонтовича и В.В. Кирпичёвой, дочери выдающегося русского механика В.Л. Кирпичёва, основателя Харьковского технологического института и Киевского политехнического института. В 1919 г. он, после переезда семьи в Москву, поступает на физико-математический факультет Московского университета. В 1925 г. становится одним из пер-

вых аспирантов выдающегося физика Л.И. Мандельштама. По окончании аспирантуры в 1928 г. Леонтович остаётся работать в НИИ физики МГУ. Помимо чтения лекций он, совместно с С.И. Вавиловым, организует специальный оптический практикум.

В конце 1934 г. Леонтович переходит на работу в Физический институт АН СССР (ФИАН) в качестве старшего научного сотрудника лаборатории колебаний, которую возглавлял Н.Д. Папалекси, и сразу оказывается в числе ведущих физиков института. В 1935 г. И.Е. Тамм, руководитель теоретического отдела ФИАН, так охарактеризовал Леонтовича в связи с решением о присуждении ему степени доктора физико-математических наук без защиты диссертации: “Михаил Александрович Леонтович принадлежит к числу выдающихся физиков-теоретиков. Отличаясь чрезвычайной ясностью ума и критической глубиной физической мысли, редкой по глубине и всесторонности эрудицией и владея в совершенстве математическим аппаратом, он вместе с тем является редким примером физика, сочетающего в себе теоретика и экспериментатора, — наряду с теоретическими ему принадлежит и ряд экспери-

ЛИСИЦА Валерий Степанович — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела теории плазмы Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий НИЦ “Курчатовский институт”, профессор кафедры физики плазмы НИЯУ МИФИ. КУЗНЕЦОВА Лариса Константиновна — кандидат физико-математических наук, учёный секретарь Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий НИЦ “Курчатовский институт”. КУКУШКИН Александр Борисович — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела теории плазмы Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий НИЦ “Курчатовский институт”, профессор кафедры физики плазмы НИЯУ МИФИ.



М.А. Леонтович. 1947 г.

ментальных работ. Ряд его работ относится к таким разнородным областям, как теория колебаний, квантовая теория, теория относительности. Но наибольшее значение имеют его работы по оптике и статистической физике.

Девять оптических работ М.А. Леонтовича посвящены всестороннему выяснению сложного комплекса явлений рассеяния света. Начав совместное с А.А. Андроновым развитие данной Л.И. Мандельштамом теории молекулярного рассеяния света на поверхности жидкости, он показал затем, что выводы этой теории приложимы также и к рассеянию света слабоматовыми поверхностями. Интересно, что такие поверхности М.А. Леонтович создавал собственными руками, орудуя напильником. Ряд его работ, выполненных частично совместно с другими авторами, посвящён комбинационному рассеянию (раман-эффекту) в кристаллах. В частности, им выяснена зависимость поля поляризации этого рассеяния от кристаллической структуры, связь рассеяния в кристаллах с рассеянием в растворах соответствующих веществ и т.д. В совместной с С.Л. Мандельштамом (младшим) работе впервые дан правильный расчёт рэлеевского рассеяния твёрдыми

тёлами. Наконец, в последней работе этого цикла М.А. Леонтович чрезвычайно изящно разрешает трудный вопрос о рассеянии света неравномерно нагретым телом.

Работа по рассеянию света естественно привела М.А. Леонтовича к рассмотрению некоторых общих проблем статистической физики. В этой области им достигнуты очень важные результаты, ставящие его в ряд наиболее крупных специалистов по статистической физике. Так, им впервые было дано обобщение статистических методов на случай непрерывных систем, установлено и исследовано понятие вероятности в функциональном пространстве, позволяющее правильно поставить и решать вопрос о степени зависимости флуктуаций в различных участках тел. Весьма близко к этим работам также и очень ценное исследование законов временных изменений флуктуаций. Наряду с применением разработанных методов к ряду физических задач М.А. Леонтовичем получены важные результаты в обосновании статистической физики с точки зрения теории случайных процессов” [1, с. 4].

Эта пространная цитата объясняет, почему в 1939 г. М.А. Леонтович был избран членом-корреспондентом АН СССР. Вскоре после начала Великой Отечественной войны в июле 1941 г. в составе сотрудников ФИАНа он эвакуируется в Казань, но уже в 1942 г. его назначают начальником лаборатории одного из оборонных заводов, а в 1944 г. переводят в Московский институт Наркомата электротехнической промышленности, где создаётся лаборатория по разработке радионавигационной системы наведения для слепого бомбометания. Леонтович назначается руководителем теоретической группы и успешно решает поставленную задачу. В 1944 г. переходит в теоретическую лабораторию радиолокационного института — НИИ-108, которую возглавлял А.И. Берг.

Наряду с решением специальных задач оборонного значения Михаил Александрович выполняет здесь важные теоретические работы в области радиофизики. Ещё в лаборатории колебаний ФИАНа он сформулировал приближённые граничные условия для электромагнитного поля на поверхности хорошо проводящих тел (опубликовал эту работу лишь спустя десять лет, в 1948 г.). Эти “граничные условия Леонтовича” позволили решить большой класс радиофизических задач и сразу прочно вошли в радиофизику и радиотехнику.

В 1944 г. Леонтович публикует фундаментальную работу по распространению радиоволн вдоль поверхности Земли, предлагает метод параболического уравнивания для комплексной амплитуды волны, сыгравший впоследствии ключевую роль в теории распространения волн и задачах нелинейной оптики. В развитие этих исследований он

совместно с В.А. Фоком публикует фундаментальный труд по теории распространения радиоволн вдоль поверхности Земли. Ещё одной основополагающей работой, также ставшей исходной для целого научного направления, становится его совместное с М.Л. Левиным исследование общей теории тонких проволочных антенн. Ему (вместе с С.М. Рытовым) принадлежит плодотворная идея включения флуктуационных токов в уравнения электродинамики и установление взаимосвязи между корреляцией флуктуаций тока в среде и её проводимостью. Этот цикл работ фактически лёг в основу отечественной теоретической школы радиофизики [1].

В 1945 г. Леонтович возвращается на работу в ФИАН, где после смерти Н.Д. Папалекси в 1947 г. становится руководителем лаборатории колебаний. В 1949 г. он приглашает в свою лабораторию способного студента Московского механического института Н.Г. Басова и становится научным руководителем будущего нобелевского лауреата. На первых послевоенных выборах в Академию наук СССР в 1946 г. М.А. Леонтович избирается её действительным членом.

До 1946 г. Михаил Александрович читает лекции в МГУ. В 1944 г. выходит в свет его замечательный курс “Статистическая физика”, а спустя семь лет — книга “Введение в термодинамику”. С 1947 по 1954 г. он преподаёт в МИФИ, где с 1949 г. заведует кафедрой теоретической физики. В 1947–1950 гг. заведует редакцией физики в Издательстве иностранной литературы.

С 1951 г. в деятельности Леонтовича наступает новый важный период, ему поручают руководство теоретическими исследованиями по управляемому термоядерному синтезу (УТС) в Институте атомной энергии (это решение принимается по предложению И.Е. Тамма). Идея получения энергии с помощью практически неисчерпаемого источника увлекла Михаила Александровича, его участие в работах по УТС сыграло исключительную роль в развитии физики высокотемпературной плазмы в СССР. Первые же его работы по расчёту влияния электродинамических сил, возникающих при смещении токового канала относительно проводящего кожуха, на динамику пинчового разряда, по стабилизирующему действию на разряд сильного продольного магнитного поля стали основой обширных исследований, продолженных его учениками. Он принимает активное участие в постановке новых экспериментов, в анализе и обсуждении их результатов.

Преподавая вначале в МИФИ, а с 1954 по 1971 г. — в МГУ им. М.В. Ломоносова, Леонтович формирует коллектив молодых учёных, завоевавший мировое признание. На протяжении всего периода работы в Институте атомной энергии

им. И.В. Курчатова он руководил известным семинаром по физике высокотемпературной плазмы.

М.А. Леонтовичем был подготовлен и вышел в свет под его редакцией первый в мире сборник трудов по управляемому термоядерному синтезу [2], в него вошли работы сотрудников Курчатовского института, ранее выполненные в условиях секретности. Этот четырёхтомный сборник получил широкую известность и, судя по его цитированию, включая переводы на английский, стал настольной книгой для мирового сообщества физиков-термоядерщиков. Также велика заслуга Михаила Александровича в организации сборника “Вопросы теории плазмы” — настольной книги практически всех теоретиков в области физики высокотемпературной плазмы и УТС. При жизни Леонтовича вышло 11 томов сборника, а позднее эту редакционную работу продолжил академик Б.Б. Кадомцев.

М.А. Леонтович скончался после тяжёлой болезни 30 марта 1981 г., похоронен в Москве на Кунцевском кладбище¹.

О научной школе М.А. Леонтовича. В связи с юбилейной датой уместно вспомнить основные этапы становления научной школы М.А. Леонтовича и взглянуть на неё с позиций современного развития науки.

По воспоминаниям коллег, для всего коллектива физиков, решавшего задачу получения термоядерной плазмы, Михаил Александрович обладал высшим авторитетом в вопросах не только научных, но и общечеловеческих. Его принципиальность, прямой и открытый взгляд на жизнь и живейший интерес ко всем научным новостям во многом способствовали формированию на долгие годы здорового климата в коллективе, находившемся в сфере его влияния и внимания. А такое влияние испытали на себе десятки физиков как работавших непосредственно с Леонтовичем, так и тех, кто участвовал в его знаменитом семинаре. Неслучайно статьи в подборке [7] объединены многозначительным словосочетанием — “Совместь Академии”. Так была подчёркнута особая роль в академической среде отдельных учёных, прежде всего И.Е. Тамма и М.А. Леонтовича, их влияние на общенаучные этические нормы, которые, как показывает и наш скромный опыт, явились необходимым условием выживания фундаментальной науки в стране.

В чём же секрет магии Леонтовича, которая так воздействовала не только на работавших с ним многие годы, но и на тех, кто встречался с ним почти что мимоходом? Напомним о его родителях, сумевших привить своим детям честность,

¹ Подробное описание научного пути и аспектов биографии М.А. Леонтовича можно найти в сборниках [3–6], а также в серии статей [7].



М.А. Леонтович со студентами

бескорыстие, симпатию к тем, кому присущи эти же качества. Естественно, что такие люди тянутся друг к другу, стараясь равняться на в чём-то их превосходящих сверстников. Так возникает конгломерат уникальных личностей — А.А. Андронов, М.А. Леонтович, П.С. Новиков, — оставивших глубокий след в жизни их коллег и учеников.

Становление М.А. Леонтовича как учёного происходило в весьма противоречивой обстановке, которая характеризовалась, с одной стороны, идеологическим давлением на науку, в особенности биологию, с другой — необходимостью интенсивного развития науки, в первую очередь физики, диктуемой соперничеством с Западом в технологиях, прежде всего оборонных. Именно такая конкуренция позволила выжить и сохранить самостоятельные научно-методические принципы тем направлениям, от которых зависело выживание страны. Поэтому руководителям государства приходилось считаться с относительной идеологической самостоятельностью научных направлений, связанных с прикладными исследованиями, и закрывать глаза на определённое свободомыслие в этой среде. Фигура Леонтовича символизировала собой своего рода соединяющее звено между классическими традициями фундаментальной науки и прикладным воплощением её результатов, востребованным в до- и послевоенные годы. Далее мы постараемся коснуться тех сторон научного стиля М.А. Леонтовича, которые могут быть актуальны для развития науки в нашей стране.

Особенность современного этапа состоит в том, что на нём ещё лежит печать недавнего прошлого, когда по вынужденным обстоятельствам научные исследования проводились в условиях непрерывной реорганизации, отсутствия систематического целевого финансирования. Это породило интенсивную эмиграцию научных кадров, разрыв поколений учёных и деградацию научных школ. Во времена Леонтовича зарплата учёных составляла “ровно столько, чтобы о ней не думать”, поэтому большую часть своего времени научные работники посвящали творческой деятельности. В этом отношении характерен пример Китая, где положение учёных в обществе примерно соответствует тому, в котором находились учёные СССР в послевоенный период. Такое примерное соответствие прослеживается и в уровне субсидирования науки в современном Китае и в послевоенном СССР.

Отметим, что возникновение научных школ в Советском Союзе проистекало в процессе решения крупных проблем, таких как создание ядерного оружия, термоядерные исследования и др. Эти крупные проблемы формулировались не абстрактно, на уровне общих слов о важности развития науки, а весьма конкретно, даже принижено деловым языком. Параллельно шла интенсивная подготовка кадров в физических вузах, позволившая нашей стране занять лидирующее положение в таких направлениях, как, например, ядерная энергетика и космическая техника. Именно такой подход к науке обеспечил создание фундамента, на котором выросли научные школы

мирового уровня, в том числе и М.А. Леонтовича. Традиционно они упоминаются как школы по радиофизике и по физике плазмы и УТС, но фактически охватывают учеников Леонтовича в других близких научных областях.

Постараемся упомянуть тех, чьё восхождение на научный олимп начиналось с работы под руководством М.А. Леонтовича, включая прежде всего сотрудников Лаборатории колебаний ФИАН и созданный им теоретический отдел, известный как “Сектор Леонтовича”, Лаборатории измерительных приборов Академии наук (ЛИПАН) СССР, позднее ставшей Курчатовским институтом: академики Н.Г. Басов, Е.П. Велихов, Б.Б. Кадомцев, А.М. Прохоров, Р.З. Сагдеев, В.Д. Шафранов, члены-корреспонденты А.А. Веденов, М.Л. Левин, А.Б. Михайловский, С.М. Рытов. Список вырастет, если его, как “генеалогическое древо”, дополнить известными в мире именами учеников очень близкого Леонтовичу М.Л. Левина — академика А.В. Гапонова-Грехова и профессора М.А. Миллера. Напомним, что сотрудником “Сектора Леонтовича” был А.И. Морозов, создатель стационарного плазменного двигателя, принцип работы которого лежит в основе холловских космических двигателей, ныне завоевавших технологическое и коммерческое поле космических коррекционных двигателей (достаточно упомянуть спутники Starlink компании SpaceX). Уже одно присутствие Леонтовича как руководителя подразделения и независимого эксперта гарантировало продвижение новых научных и технологических идей.

Иллюстрацией впечатляющей деятельности М.А. Леонтовича как учителя и создателя научных школ может служить акrostих академика РАН В.Д. Шафранова, дополненный шаржем члена-корреспондента РАН Л.А. Максимова. Свидетельство благодарности многочисленных учеников и коллег М.А. Леонтовича — издание четырёх книг о Михаиле Александровиче [3–6]. В их подготовке важную роль сыграли его ученики и многолетние заместители в теоретическом секторе В.Д. Шафранов и профессор В.И. Коган при активном участии первых двух авторов настоящей статьи.

Об управлении наукой и гражданской позиции учёного. Инновационный характер исследований возникал естественно в процессе работы по конкретному направлению, а оно, это направление, диктовалось потребностями общества. Так, школа по радиофизике возникла из задач распространения волн вблизи земной поверхности, для которого и были сформулированы известные “граничные условия Леонтовича”. Интенсивная конкуренция в области управляемого термоядерного синтеза привела к созданию установок токамак, получивших мировое признание, а также со-



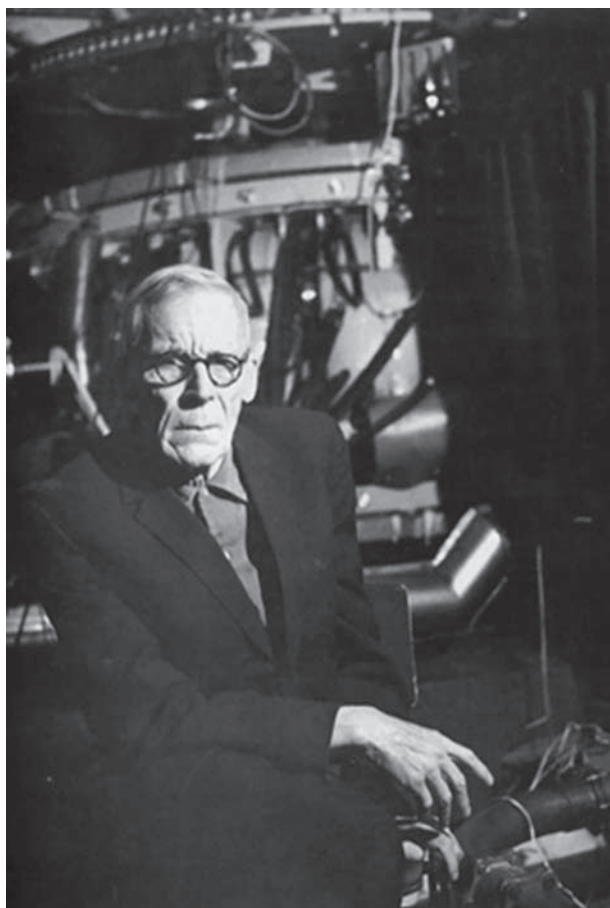
Дружеский шарж

Акrostих В.Д. Шафранова, шарж Л.А. Максимова

зданию мощной теоретической школы по физике плазмы, у истоков которой стоял Леонтович.

Здесь невольно напрашивается сравнение с сегодняшним положением фундаментальной науки. Современные требования к инновационному развитию экономики России находятся в очевидном противоречии с тенденциями чисто сырьевой экономики, при которой нет заинтересованности в инвестициях в наукоёмкие технологии и тем более в фундаментальные научные исследования. В качестве позитивного примера государственной поддержки исследований в достаточно далёких от внедрения областях можно привести астрофизику. Такая позиция основана на понимании, что молодые люди, получившие высокую научно-методическую подготовку в фундаментальной науке, принесут её в другие области их деятельности, даже если их карьера будет далека от полученного образования. Достаточно напомнить, что современные суперкомпьютерные технологии выросли именно из фундаментальных исследований по физике высоких энергий.

Во времена Леонтовича теоретические исследования плазмы были связаны с установлением фундаментальных свойств плазменной среды,



У токамака Т-4 в Курчатовском институте

условий их удержания магнитными конфигурациями, наличием громадного количества плазменных неустойчивостей, обусловленных многочисленными степенями свободы в плазме, тесной связью с астрофизическими приложениями. Эти работы ассоциировались, как правило, с именами индивидуальных авторов, вносивших определяющий вклад в разработку того или иного направления. Современные теоретические термоядерные исследования всё более сдвигаются в область прикладных расчётных моделей, позволяющих объяснить детали современных плазменных экспериментов. Фактически речь идёт, как правило, о сопоставлении результатов различных численных кодов, многие детали которых неизбежно отсутствуют в журнальных статьях и других публикациях, а практическое использование без участия авторов, в тех случаях, когда оно вообще возможно, требует длительной кропотливой работы. В таких условиях интенсивно развивается так называемое интегрированное моделирование (integrated modeling), использующее широкий спектр расчётно-теоретических инструментов для описания сложных многофункциональных явлений, связанных с эволюцией плазменных

конфигураций и многочисленными процессами, протекающими в плазменных установках. Как правило, такие исследования проводятся большим авторским коллективом, а названия публикаций связаны либо с целевой научной программой, либо с конкретной установкой, на которой они были проведены. Таким образом, наблюдается своеобразный переход от индивидуального к коллективному научному творчеству, который, без иронии, можно объяснить преобладанием коллективности как фундаментального свойства плазмы, являющейся четвёртым состоянием вещества.

Важно отметить, что на фоне успехов численного моделирования плазменных процессов в конкретных установках целый ряд фундаментальных свойств плазмы в установках её магнитного удержания всё ещё остаётся невыясненным. Это касается прежде всего объяснения из первых принципов наблюдаемых транспортных характеристик тепла и частиц (аномальные транспортные коэффициенты, транспорт примесей, роль турбулентных свойств плазмы) и явления самоорганизации, состоящего в сохранении формы (но не абсолютных значений) пространственных профилей температуры и плотности на квазистационарной стадии разряда, то есть постоянного полного электрического тока в плазме, даже при включении на этой стадии очень мощного дополнительного нагрева плазмы.

В этой связи интересно пофантазировать, как бы отнёсся М.А. Леонтович к комплексу перечисленных проблем. Как теоретик, он, конечно, требовал бы исчерпывающего аналитического описания наблюдаемых явлений. Напомним, что он постоянно дискутировал с лидером исследования неустойчивостей плазмы А.Б. Михайловским по поводу градации (установления приоритетов) громадного набора возможных гидродинамических и кинетических неустойчивостей плазмы: “Какие из них главные, а какие второстепенные?” — М.А. Леонтович, “Все главные” — А.Б. Михайловский. Как бы Леонтович отнёсся к изложению результатов типа “расчёты на суперкомпьютере показали...”? Влияние аналитического подхода состоит в том, что проблема осмысления теоретических результатов на языке универсальных физических параметров, на наш взгляд, остаётся актуальной.

Любопытна в этой связи модификация специальности “Физика плазмы” в аттестационном (диссертационном) контексте. Здесь, наряду с традиционными исследованиями свойств плазмы, всё большее значение приобретают прикладные проблемы, такие как нейтронная стойкость измерительной аппаратуры в токамаке-реакторе, защита стенки реактора от радиационных повреждений, нейтронный выход и его применение в

гибридном реакторе и даже технология удаления пыли из работающей зоны реактора. Как представляется, в перспективе современные технологические проблемы могут вообще вытеснить собственно плазменные исследования. Значит ли это, что история физики плазмы завершена? Чем ближе к технологии — тем меньше науки? В своё время Леонтович выступил на диссертационном совете против присуждения степени доктора физико-математических наук известному учёному, защищавшемуся по закрытой тематике: “Закрытая? — Это значит доктор технических наук!” Его едва убедили голосовать за присуждение соискателю степени доктора физико-математических наук. Сейчас эта дискутируемая грань в плазменных исследованиях всё более стирается и возникает парадоксальная ситуация, когда диссертационный совет, состоящий в подавляющем большинстве из докторов физико-математических наук, вынужден рассматривать работы, всё более близкие по тематике к тем, за которые присваивается учёная степень доктора технических наук.

В ходе реализации атомного проекта и успешного испытания в 1949 г. атомной бомбы И.В. Курчатовым была поставлена задача перевода тематики на мирные рельсы, тем самым были инициированы исследования по управляемому термоядерному синтезу. Естественно, возник вопрос о руководителе теоретических исследований по этой проблеме. Л.П. Берия, ответственный в правительстве за ядерную программу, счёл необходимым обратиться за рекомендацией к такому научному авторитету в программе неуправляемого термоядерного синтеза, как И.Е. Тамм. Рекомендация Таммом Леонтовича была принята Берией, но при этом сопровождалась циничной фразой “Будем следить — не будет вредить” (в ответ на замечания его сатрапов, не будет ли вредить Леонтович, известный своим независимым характером). Описанная ситуация показывает: сколь бы ни была авторитарной власть и жёсткими идеологические ограничения в те времена, однако существовало чёткое понимание, что без фундаментальной науки, без работы научных школ государство не сможет решить стоящие перед ним проблемы послевоенного восстановления страны, её развития, обеспечения безопасности и амбициозные задачи, направленные в будущее. Высочайший авторитет руководителей научных школ был “верительной грамотой”, которая позволяла принимать трезвые и грамотные решения на самом высоком уровне власти. Тогда все силы общества были направлены на сохранение, обеспечение безопасности и развития государства в интересах народа.

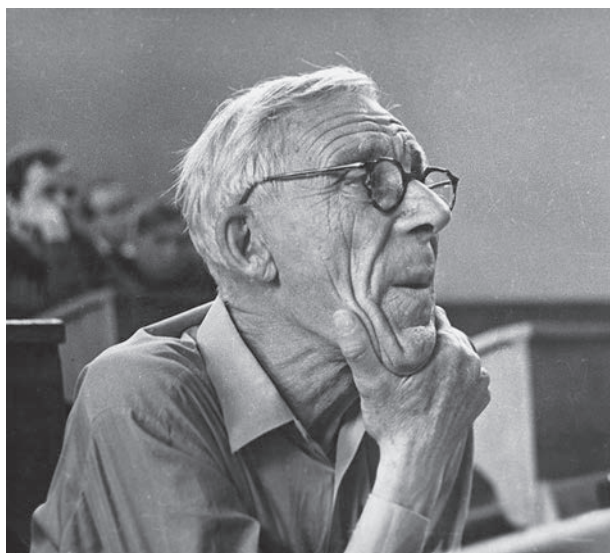
Что же произошло в начале 1990-х? Почему великое, могучее государство с передовой наукой, мощной армией учёных и инженеров отказалось от самого себя и своих достижений?! В последую-

щие почти три десятилетия эта армия была раздроблена, рассеяна по уголкам земного шара и сферам деятельности в родной стране. Наступила эра мелкотемья в науке, отсутствия амбициозных программ и проектов, а для учёных на первый план вышла проблема выживания. Но и эти времена уже в прошлом. Им на смену пришла эпоха “эффективных менеджеров”, внедряющих “индикаторы и показатели” виртуозно изменяемых форм отчётности. Наука и учёные превращены в обслуживающий персонал для “эффективного менеджмента”.

Идея установления контроля за научным процессом напоминает анекдотическую историю с академиком В.А. Фоком в 1930-х годах, когда его обязывали заполнять журнал с отчётами, что было сделано за день. В результате получилось: “1-й день — думал, 2-й — думал, 3-й — придумал, 4-й — думал, 5-й — думал, 6-й — ничего не придумал!”. Удивительно, как бюрократический подход к организации науки оказывается живучим на протяжении почти столетия (30-е годы прошлого века — 20-е нынешнего).

Курчатовскому институту после развала Советского Союза тем не менее удалось сохранить науку, сохранить школу Леонтовича в области УТС, и есть надежды на её поступательное развитие, способность реагировать на вызовы современности. В НИЦ “Курчатовский институт” впервые за прошедшие 30 лет построена современная термоядерная установка для магнитного удержания плазмы — токамак Т-15МД, осуществлены физический (май 2021 г.) и энергетический (март 2023 г.) пуски установки. В последние несколько лет произошли сдвиги к лучшему и в области финансирования науки.

Следует сказать, что подход Леонтовича к воспитанию научной молодёжи был весьма своеобразным. Помимо чтения лекций в МГУ и МИФИ он постоянно общался с молодыми научными сотрудниками лаборатории, причём абсолютно на равных: приходил в комнату, подсаживался и спрашивал: “А что у вас?”. И начинал с этими сотрудниками работать без какого-либо высокомерия и менторства. Забавно его отношение к молодым сотрудникам, нуждавшимся в финансовой поддержке. Леонтович, будучи академиком, получал приличную зарплату, которую почти не тратил ввиду его скромных потребностей. Идя на работу, он нередко набивал карманы денежными купюрами, а на вопрос родственников, зачем он это делает, отвечал: «Подходит ко мне молодой человек и начинает говорить о проблемах науки, заглядывая мне в глаза. Я обычно спрашиваю: “Сколько вам нужно?”». И, как правило, давал озвученную молодым научным сотрудником сумму, за исключением займов на машину (считал опасным). Анекдот от Леонтовича по поводу Га-



М.А. Леонтович — внимательный, доброжелательный слушатель и строгий критик

мова (известный теоретик по проблеме альфа-распада ядер): “Ну очень быстро растущий учёный; будучи студентом, обратился ко мне с просьбой о пяти рублях, будучи аспирантом, занял у меня 50 рублей, а как-то на крымском пляже нашёл меня, чтобы занять 500 рублей. После чего эмигрировал в Америку и забыл о долге. Очень быстро растущий человек!”. Отметим, что семья Леонтовичей простила долги всем заёмщикам после начала войны.

Интересно отношение М.А. Леонтовича к научным публикациям. В отличие от современного стиля он никогда не стремился опубликовать большое количество статей по какому-либо вопросу. Его публикации подчас единичны и посвящены, как правило, решению фундаментальных вопросов теории. Так, статья о распространении радиоволн вблизи земной поверхности (в ней рассматривались “граничные условия Леонтовича”) была опубликована лишь по многочисленным просьбам его сотрудников, причём после многократного использования результатов Леонтовича в прикладных работах других авторов. По существу, он следовал принципу “понял, решил, опубликовал — пошёл дальше”. Это относится, в частности, к его работе по неравновесной термодинамике, которая предвосхитила более поздние многочисленные работы нобелевского лауреата И.Р. Пригожина с сотрудниками (подробнее эти вопросы изложены в воспоминаниях Ю.Л. Климонтовича в книге [5, с. 160–171]). Работа М.А. Леонтовича с Л.И. Мандельштамом по взаимоотношению дискретного и непрерывного спектров в квантовой механике [1, с. 56–60] намного опередила дальнейшие исследования Г.А. Гамова по теории альфа-распада ядер. Воз-

можно, именно отношение Леонтовича к публикации полученных им результатов не позволило его работам получить широкую известность в научной литературе. Более того, он отказывался быть соавтором работ, выполненных при его участии и под его непосредственным руководством. Это относится, как уже отмечалось, к серии работ по теории циклотронного излучения плазмы, выполненных Б.А. Трубниковым и получивших мировое признание. Он считал, что научный результат имеет непреходящую ценность независимо от того, кем был получен. Принцип “наша обязанность — помогать проезжающим” резко отличался от борьбы за приоритеты, свойственной современным авторам.

Характерная особенность Леонтовича — абсолютное безразличие к наградам, премиям и другим знакам отличия. “Чины да ордена людьми даются, а люди могут обмануться”, — любил повторять он. Так, он неоднократно награждался за научные достижения орденами Трудового Красного Знамени, которые ему присылали по почте, поскольку сам он не ходил их получать². По поводу академических званий характерна его фраза, сказанная одному уважаемому учёному, добивавшемуся поддержки Леонтовича на выборах в члены-корреспонденты: “Да что вам это звание, возьмите и почитайте лекции за те же 250 рублей!” Он считал доплаты за научные звания не вопросом престижа, а средством, позволяющим учёному существовать относительно безбедно, чтобы его не слишком обременяли бытовые проблемы.

Его повседневный быт поражал скромностью обстановки и питания. Первому из авторов этой статьи однажды пришлось прийти к Михаилу Александровичу домой по какому-то научному вопросу. Его поразила спартанская обстановка: жёсткая кровать с металлическим каркасом (почти как на картине И.Е. Репина “Отказ от исповеди”), деревянный стол, полки из неполированных досок с книгами, паркетный пол без полировки, но чисто вымытый. В процессе разговора Михаил Александрович открыл ящик в поисках авторучки и смахнул несколько орденов Трудового Красного Знамени, лежавших вперемешку с письменными принадлежностями.

Любые бюрократические препятствия, создаваемые администраторами от науки, приводили Леонтовича буквально в бешенство. Так, он фактически подрался с охранником, не пропускавшим одного из докладчиков на его семинар из-за неправильно оформленного пропуска. После этого он позвонил тогдашнему директору инсти-

² М.А. Леонтович награждён тремя орденами Ленина (1953, 1954, 1963), пятью орденами Трудового Красного Знамени, он также удостоен Ленинской премии (1958), Золотой медали имени А.С. Попова АН СССР (1952).

тута, своему однокашнику А.П. Александрову, и закричал: “Анатолий! Все твои распоряжения — г...!” (имелось в виду право Леонтовича распоряжаться пропусками на семинар). У начальника 1-го отдела были большие неприятности вследствие этого эпизода. Весьма критически Леонтович относился также к вопросам секретности: “Запомните, гриф — это птица, питающаяся падалью”, — наставлял он сотрудницу первого отдела, приносившую ему на подпись бумаги с грифом секретности. В противовес этому добавим, что Михаил Александрович во время работ по радиолокации запрещал сыну смотреть на металлические детали в его книжном шкафу, поскольку они подсказывали характерные длины используемых электромагнитных волн. Отсюда следует, что Михаил Александрович протестовал только против излишней, неоправданной секретности.

Фигура М.А. Леонтовича — живое олицетворение единства русского и украинского народов. Его жизнь началась в Петербурге, отрочество и юность прошли в Киеве, работа и большая часть жизни — в Москве. Его отец Александр Владимирович Леонтович (1869—1943) был крупным физиологом, академиком УССР. Сам М.А. Леонтович резко отрицательно относился к национализму любого толка. Ему, например, импонировал анекдот ещё времен гражданской войны: в петлюровском штабе открывается заседание, командир окидывает взглядом присутствующих: “Москалив немає? Жидив немає? — Тогда будем говорить на русском”.

Наряду с блестящим знанием физики Михаил Александрович Леонтович живо интересовался другими направлениями науки. Он хорошо знал химию и биологию. На протяжении многих лет неизменно читал журнал “Природа” и не просто читал, но и настаивал на общедоступном изложе-

нии сложных научных проблем. “Эта статья недоступна для понимания даже мне — простому советскому академику”, — наставлял он редакцию журнала. Всегда требовал ясного изложения полученных результатов — сказывалось его многолетнее общение с экспериментаторами, глубокое понимание сути прикладных исследований.

В заключение хотелось бы выразить надежду на то, что научные и этические принципы, за которые М.А. Леонтович боролся и отстаивал их на протяжении всей жизни, будут поддержаны и продолжены учёными сегодняшнего поколения, найдут достойное отражение в развитии современной российской науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Леонтович М.А.* Избранные труды. Теоретическая физика. М.: Наука, 1985.
2. *Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. Сборник статей / Отв. ред. акад. М.А. Леонтович. Т. 1—4. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1958.*
3. *Воспоминания об академике М.А. Леонтовиче / АН СССР, Отделение общ. физики и астрономии. Составитель В.Д. Новиков. М.: Наука, 1990.*
4. *Воспоминания об академике М.А. Леонтовиче. 2-е изд., доп. / Составители: В.И. Коган, В.Д. Новиков. М.: Наука, Физматлит, 1996.*
5. *Академик М.А. Леонтович. Учёный. Учитель. Гражданин / Составители: В.И. Коган, Л.К. Кузнецова, В.Д. Новиков. М.: Наука, 2003.*
6. *Естествен, как сама Природа. Об академике Михаиле Александровиче Леонтовиче / Составители: В.Д. Шафранов, В.И. Коган, Л.К. Кузнецова. М.: Наука, 2005.*
7. “Совесть Академии”. К 100-летию Михаила Александровича Леонтовича // *Природа*. 2003. № 3. С. 3—18.

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

**СОВЕТСКИЙ ОПЫТ УПРАВЛЕНИЯ ОТРАСЛЕВОЙ
И АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКОЙ
ПАМЯТИ АКАДЕМИКА Г.И. МАРЧУКА**

© 2023 г. В. П. Ильин^{а,*}

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

*E-mail: ilin@sscc.ru

Поступила в редакцию 24.03.2023 г.

После доработки 07.04.2023 г.

Принята к публикации 14.04.2023 г.

Десять лет назад, 24 марта 2013 г., ушёл из жизни академик Г.И. Марчук, чей творческий путь вмещает выдающиеся результаты фундаментальных и прикладных исследований в области вычислительной математики и компьютерного моделирования, создание научных школ мирового уровня по физике атмосферы и океана, по расчётам ядерных реакторов и математической иммунологии, а также уникальный опыт руководства отраслевой и математической наукой на государственном уровне. Заветы учёного, сконцентрированные в его книге “Наука управлять наукой”, указывают пути реформирования Российской академии наук, призванной обеспечить научно-технологический прогресс и устойчивое развитие общества в нашей стране.

Ключевые слова: академик Г.И. Марчук, фундаментальные и прикладные исследования, научные школы, руководство отраслевой и академической наукой, научно-технический прогресс, устойчивое развитие общества.

DOI: 10.31857/S0869587323050043, **EDN:** VVUICZ

Гурий Иванович Марчук — выдающийся учёный, оставивший яркий след в истории руководства советской и российской наукой. Его биография — образец верности своему долгу. Детство и юность, проведённые им в приволжском посёлке, завершились с началом Великой Отечественной войны: 16-летнего девятиклассника назначили секретарём райкома комсомола. После окончания школы в 1942 г. он поступил в Ленинградский государственный университет (ЛГУ), эвакуированный в Саратов, а в конце первого курса был призван в армию и направлен на учёбу в Артиллерийское училище. По окончании обучения начал там же преподавать. Затем последовали неоднократные командировки в прифронтовые зоны. После войны Марчук был демобилизован и вернулся на второй курс ЛГУ, где получил классическое математическое образование, а позднее поступил в аспирантуру к профессору Г.И. Петра-

шению, создавшему знаменитую школу по теории упругости и воспитавшему ряд советских академиков. В университете Гурий Иванович познакомился со студенткой-химиком Ольгой Николаевной, и вместе они создали счастливую семью и вырастили троих сыновей, ставших по примеру отца математиками.

В 1952 г. Марчука пригласили в Московский геофизический институт, где он под руководством прекрасного математика И.А. Кибеля за три года подготовил кандидатскую диссертацию по физике атмосферы. Ольга Николаевна была распределена по своей специальности в подмосковную Электросталь на секретный химический завод, а муж приезжал к ней в гости в общежитие по выходным. Когда же после рождения старшего сына Ольга Николаевна обратилась к начальству с просьбой отпустить её в Москву к мужу для воссоединения семьи, Гурия Ивановича внезапно вызвали в высокие инстанции и вручили обязательное предписание о переводе вместе с семьёй в Обнинск (105 км от Москвы) на закрытое предприятие, где была создана первая в мире

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



Гурий Иванович Марчук (1925–2013)
Семейный снимок 2008 г.

АЭС (ныне – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, ФЭИ).

Обнинский период – этап становления Г.И. Марчука как крупного учёного и научного

руководителя. Он в кратчайший срок не только овладел новой специальностью, но и сформировал научное направление по расчётам ядерных реакторов (на современном языке – моделирование). Защищённая им по этой теме докторская диссертация послужила основой для монографии, которая стала настольной книгой советских математиков-вычислителей и была переведена на многие языки. По настоянию И.В. Курчатова, возглавлявшего в 1959 г. делегацию СССР на Женевской конференции по использованию атомной энергии в мирных целях, доклад Г.И. Марчука был включён в программу пленарных заседаний. Важно понимать, что те годы знаменовались для СССР возрождением из послевоенной разрухи, расцветом холодной войны, массовых трудовых подвигов во имя светлого будущего и стремлением создать ядерно-ракетный щит для Родины. Мировой паритет был достигнут в кратчайшие сроки – во многом благодаря блестящим достижениям советских учёных. Этот образец всенародного единства в суровых внешних обстоятельствах – прекрасный исторический урок, сохраняющий свою ценность и в настоящее время.

Созданный Марчуком большой математический отдел в ФЭИ объединил блестящих математиков и молодых энтузиастов, разработавших алгоритмы и программы для первых советских ЭВМ (Урал, БЭСМ-2), с помощью которых проводилось проектирование ядерных установок. Гурий Иванович был удостоен “закрытой” Ленинской премии за расчёты реакторов для подводных лодок. Довелось ему участвовать и в термоядерном проекте с командировками на сверх-



Гурий Иванович с женой Ольгой Николаевной и сыновьями Александром, Андреем и Николаем, 1970 г.

секретный объект Арзамас-16, ныне — Саров. Одно из порученных ему ответственных заданий включало участие в государственной комиссии по ядерной безопасности.

Очевидные для руководства отрасли научные результаты и организационные качества Г.И. Марчука привели к рассмотрению на высоких правительственных и партийных уровнях вопроса о его назначении на пост директора только создававшегося тогда ядерного центра в Мелекессе (ныне — Димитровград). Однако решение оказалось запоздалым, так как незадолго до этого учёный дал согласие М.А. Лаврентьеву, лично приехавшему в Обнинск и пригласившему его в Новосибирский Академгородок для развития вычислительных наук. Ситуация оказалась непростой, и окончательно переезд в Сибирь согласовывался в ЦК КПСС.

В начале 1962 г. Гурий Иванович стал заместителем директора Института математики СО АН СССР, а с января 1964 г. официально заработал организованный им Вычислительный центр СО АН СССР (ВЦ СО АН СССР), куда были приглашены такие учёные, как А.С. Алексеев, С.К. Годунов, А.П. Ершов, М.М. Лаврентьев, Г.А. Михайлов и Н.Н. Яненко, сформировавшие собственные школы мирового уровня. На пике своего развития центр объединял более 1300 сотрудников, а его парк ЭВМ по производительности был третьим в Советском Союзе. Он стал альма-матер для многих дочерних организаций, и около 30 его ведущих сотрудников заняли посты директоров институтов. Созданный по концепции Г.И. Марчука Главный производственный вычислительный центр превратился в идеальную фабрику машинного времени, работавшую в социалистических условиях фактически на коммерческих принципах.

Врождённая интеллигентность и легендарная вежливость Гурия Ивановича гармонично сочетались в нём с энергичной работоспособностью и самодисциплиной, что снискало ему высочайший авторитет руководителя и сформировало в институте редкую атмосферу творческого сотрудничества. Без преувеличения можно сказать, что вдохновляющими лозунгами были такие принципы Г.И. Марчука, как “смело браться за решение больших задач” и “доводить начатое дело до конца”. В стенах Вычислительного центра функционировали пять базовых кафедр Новосибирского университета, лучшие выпускники которых пополнили научные школы по вычислительной математике, программированию, обратным и некорректным задачам, механике сплошных сред, математической геофизике, статистическому моделированию, и эти кафедры занимали лидирующие позиции в мировом математическом сообществе. Огромную научно-организационную

роль играла сеть всесоюзных и международных конференций, симпозиумов и семинаров, проводившихся при активном участии ВЦ СО АН СССР.

С 1968 г. Гурий Иванович начал работать заместителем председателя СО АН СССР, а с 1975 г. стал преемником М.А. Лаврентьева на посту председателя, свято продолжая продвигать стратегию укрепления Сибирского отделения, развития его филиалов в регионах, усиления связи академической науки с образовательными институтами и внедрения достижений научно-технического прогресса в народно-хозяйственные отрасли. Здесь большую интегрирующую роль сыграла сформированная Г.И. Марчуком совместно с академиками А.Г. Аганбегяном и А.А. Трофимуксом программа “Сибирь”, получившая фактически статус государственной стратегии развития восточных территорий страны.

Научные результаты Г.И. Марчука обрели мировую известность, а в личном плане он нашёл много настоящих друзей среди выдающихся иностранных учёных, в числе которых Ж. Лионс (Франция), И. Бабушка (Чехословакия), Э. Маженес (Италия) и другие. Яркий пример плодотворного сотрудничества — проводившийся ежегодно на протяжении более 10 лет советско-итало-французский симпозиум (поочерёдно в Новосибирске (Академгородок), Павии и Версале).

Гурий Иванович всегда вёл активную общественную деятельность и находил время как для популяризации науки, так и для внедрения её достижений в народное хозяйство. Его яркие выступления на форумах самых разных уровней, многочисленные интервью и публицистические статьи представляют собой образцы профессионализма, гражданской мужественности и ответственности. Значительным событием стала организованная Марчуком в 1980 г. в Академгородке Всесоюзная научно-практическая конференция “Комплексное развитие производительных сил Сибири”, в которой принимали участие два члена Политбюро ЦК КПСС и высшие руководители всех сибирских регионов.

Закономерным итогом эволюции личности Г.И. Марчука как учёного-организатора стало его назначение в 1980 г. председателем Государственного комитета по науке и технике (ГКНТ) в ранге заместителя председателя Совмина СССР. Из Новосибирска в Москву он переехал не один, а вместе с 20 ближайшими сподвижниками, создав с ними Отдел вычислительной математики, реорганизованный позже в одноимённый институт мирового уровня. ГКНТ осуществлял руководство всей отраслевой наукой в стране, выступая также связующим звеном между Академией наук и народно-хозяйственными отраслями, и Г.И. Марчук с головой погрузился в это кипучее море мно-



А.П. Александров вручает Г.И. Марчуку золотую медаль им. М.В. Келдыша, 1980 г.

гогранной деятельности. Он также входил в Бюро Совета министров СССР, где состояло немногим более 10 человек, и был причастен к принятию общегосударственных решений. Свою миссию Гурий Иванович видел в активном продвижении научно-технического прогресса.

Родной научный коллектив и личные исследования Марчук никогда не бросал, находя в этом источник силы и вдохновения. За цикл работ “Развитие и создание новых методов математического моделирования” Гурия Ивановича наградили золотой медалью им. М.В. Келдыша. В конференц-зале ГКНТ был организован регулярный многопрофильный Общесоюзный научный семинар, ставший очень престижным в стране. Это была эпоха перехода развитых стран к постиндустриальному обществу. Г.И. Марчук совместно с ведущими учёными-экономистами подготовил доклад ГКНТ председателю Совета министров Н.А. Тихонову с предложениями о модернизации планирования макроэкономики для обсуждения проблемы на заседании Президиума Совмина СССР. Однако до этого дело не дошло, Правительство ограничилось экспериментами на отдельных предприятиях. Аналогичная судьба постигла и критический доклад комитета, содержавший анализ работы Статистического управления по

оценке научно-технического развития страны. Гурий Иванович неоднократно участвовал в острых дискуссиях на заседаниях высокого уровня по проблемам рентабельности предприятий, амортизационных расходов, стимулирования инноваций и другим вопросам построения прогрессивной экономики. Высказанные им мысли были близки идеям перехода к свободному рынку, однако взаимопонимания с Н.А. Тихоновым по этим концепциям достигнуто не было.

Государственный комитет по науке и технике совместно с АН СССР под руководством А.П. Александрова внёс значительный вклад в разработку перспективной энергетической программы страны. Предложенный проект неоднократно обсуждался на Политбюро ЦК и в Правительстве, заложил основы энергетического обеспечения государства.

Одной из смелых идей Г.И. Марчука было расширение научно-технического прогресса на международном уровне в рамках Совета экономической взаимопомощи (СЭВ), объединявшего европейские страны социалистического лагеря. Предложение было всеми принято на ура, и Гурия Ивановича назначили главой созданного Комитета СЭВ по реализации намеченных перспективных мероприятий. Однако в дальнейшем зарубежные партнёры воздержались от финансирования планов сотрудничества, тем самым сорвав их. В итоге Марчук получил сразу два выговора — от Правительства и ЦК партии. В его жизни это стало первым незавершённым проектом, несколько, однако, не поколебавшим его авторитета среди руководства и коллег, которые понимали, что в случившейся международной коллизии личной вины Гурия Ивановича нет.

На посту заместителя председателя Правительства по науке и технике Г.И. Марчук исполнял представительские обязанности на межгосударственных встречах высшего уровня, а также многократно возглавлял поездки правительственных делегаций за рубеж и проводил различные международные мероприятия. Здесь стоит отметить тёплые дружеские отношения, сложившиеся у него с Индирой Ганди и её сыном Радживом: он посещал их дом и много лет возглавлял программу научно-технического советско-индийского сотрудничества. Кроме того, Гурий Иванович в течение ряда лет был сопредседателем Большой комиссии по экономическому сотрудничеству с Францией и неоднократно встречался с Ф. Миттераном. В активе Г.И. Марчука были и успешные переговоры с М. Тэтчер о сотрудничестве с Великобританией, и встречи с лидерами других государств, позволявшие в переговорах решить оперативные вопросы научно-технической кооперации. Научный авторитет и государственная компетентность Гурия Ивано-



Президент АН СССР Г.И. Марчук перед зданием президиума академии, 1988 г.

вича получили заслуженное признание: он удостоивался правительственных наград разных стран, почётных званий иностранного члена академий и доктора наук зарубежных университетов.

В 1986 г. произошла трагическая авария на Чернобыльской АЭС, и ответственный за ядерную энергетику академик А.П. Александров оставил пост президента АН СССР. После объявления выборов Отделение математических наук выдвинуло Г.И. Марчука кандидатом в президенты, что было поддержано Политбюро ЦК КПСС, а также самим А.П. Александровым, и в октябре 1986 г. на Общем собрании Гурий Иванович был избран. Первый шаг, предпринятый Марчуком на новом посту, — омоложение состава президиума и директорского корпуса путём введения для пожилых коллег статуса советника, куда они могли переходить без ущерба для своего положения. Другое большое изменение заключалось в значительном укреплении контактов и сотрудничества с министерствами. В результате академические институты получили много новых заказов, что принесло огромную пользу не только прикладным, но и фундаментальным исследованиям. Также были активизированы связи с высшими представителями власти на партийном и правительственном уровнях, что приумножило эксперт-

ную роль Академии наук в крупных государственных программах. Не менее важна инициатива Гурия Ивановича по активизации творческих и организационных связей отделений и президиума АН СССР с институтами, что укрепило единство различных академических структур в управлении наукой.

Огромную роль сыграла деятельность Г.И. Марчука по возвращению в академию технических наук, которые в своё время были переданы Н.С. Хрущёвым в отраслевые министерства. Был возвращён академический статус Института машиностроения вместе с его региональными филиалами, а также восстановлены связи с генеральными конструкторами самолётов, ракет и космических аппаратов. Много усилий приложил Гурий Иванович для окончательной ликвидации тех последствий гонений на биологические науки, которые начались ещё во времена лысенковщины. АН СССР внесла в Правительство предложение о предоставлении государственных наград учёным, проявившим принципиальность и стойкость в борьбе за научную истину. В итоге многие получили заслуженное признание, и это политическое решение способствовало уверенному развитию советской биологии.

Занимаясь фундаментальными и прикладными проблемами математики, Марчук ясно видел перспективы проникновения суперкомпьютерного моделирования во все области знаний и народно-хозяйственные отрасли. В Политбюро ЦК КПСС было направлено развёрнутое предложение по укреплению материальной базы математических институтов и улучшению условий для студентов и преподавателей-математиков. Эта инициатива была поддержана, и в Ленинграде создали Международный математический институт им. Л. Эйлера нового типа, а в Москве возвели здание, где впоследствии расположились Математический институт им. В.А. Стеклова РАН и Институт вычислительной математики РАН, которому в 2013 г. было присвоено имя Г.И. Марчука.

Исключительное значение имел подписанный в 1988 г. высшими руководящими инстанциями указ, присвоивший Академии наук СССР статус неправительственной организации. Она стала независимой от государственных, партийных и общественных органов, подчинялась только конституции и законам страны. В связи с кардинальным изменением статуса академии были назначены выборы её нового руководства, от президента до членов бюро всех отделений, и Г.И. Марчука избрали президентом на новый срок. Последние годы в этой должности Гурий Иванович в значительной степени посвятил укреплению международного сотрудничества. Он совершил знаковые поездки с представительными делегациями во Францию, Китай, Израиль, Бразилию, США. В другие времена это сулило бы большие перспективы, но в конце перестройки всю страну охватили политические страсти между противниками и сторонниками М.С. Горбачёва. Эта борьба захватила и Академию наук, в том числе её президиум, где застрельщиком был создатель водородной бомбы академик А.Д. Сахаров. Марчук призывал коллег к нейтралитету, однако его попытки успехом не увенчались.

После развала СССР Марчук прикладывал усилия по объединению учёных в рамках Академии наук Содружества Независимых Государств. Эта идея нашла достаточно широкий отклик, но после жёсткой борьбы центробежные силы возобладали, и было принято окончательное решение о реорганизации АН СССР в Российскую академию наук. Чтобы не остаться в одиночестве, Гурий Иванович присоединился к резолюции и поддержал выдвижение уральского академика Ю.С. Осипова на пост президента РАН. В декабре 1991 г. состоялось Общее собрание, на котором Марчук выступил с большой речью, навсегда войдя в историю как последний президент АН СССР. Это был трагический рекевием по советской науке, где он предрекал тяжёлые последствия для всей страны, которые, к великому несчастью, в полной мере оправдались.

В постсоветское время деятельность Марчука в науке резко изменилась. Он был директором, а позже — почётным директором родного ИВМ РАН, членом президиума РАН, председателем учёных советов, руководителем кафедры, многочисленных семинаров и редколлегий научных журналов. Предпринимались попытки интеграционных инициатив: создать международный фонд “Академическая наука”, Союз президентов академий наук СНГ, Национальный совет учёных России в поддержку науки, техники и образования, но в наступившие суровые времена они были обречены на неудачу. Как всегда, Гурий Иванович много ездил по стране и за рубеж, будучи везде желанным и почётным гостем. Ежегодно бывал в Академгородке, где ещё в 1970-е годы организовал регулярную конференцию “Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики”, которая теперь называется “Марчуковские научные чтения”.

Жизнь Г.И. Марчука — это образец служения Родине и людям. Прощание с ним проходило на высоком государственном уровне. Возложить цветы в президиум РАН и на Новодевичье кладбище пришли тысячи людей. Память о Гурии Ивановиче жива в сердцах современников, в огромном количестве его трудов, заложивших ряд новых фундаментальных и прикладных направлений, а также в созданных им успешно развивающихся научных школах. Признание его уникальных личных качеств, выдающихся научных, организационных и государственных заслуг находит отражение в многочисленных публикациях и онлайн-ресурсах [1–3]. Его наследие насчитывает более 40 монографий и сотни статей, а также пятитомник избранных трудов по широкому спектру направлений вычислительной и прикладной математики [4–8]. Знаменательным духовным завещанием Гурия Ивановича выступает книга “Наука управлять наукой” [9], где собраны его яркие научно-популярные и острые публицистические работы, актуальные по сей день и отражающие неоценимый опыт руководства фундаментальными и прикладными исследованиями в государственном масштабе. Библиографический указатель учёного за 2015 г. содержит впечатляющий список из более 600 научных и 393 публицистических работ [1].

Творческие заслуги Г.И. Марчука были высоко оценены на родине и мировым научным сообществом. Он удостоен званий лауреата Ленинской и Государственной премий СССР, награждён звездой Героя Социалистического Труда, четырьмя орденами Ленина и многочисленными орденами и медалями, включая высшие правительственные награды Индии и Франции. Гурий Иванович избран членом многих иностранных академий наук, почётным доктором ряда ведущих зарубежных университетов, а также стал лауреа-

том престижных научных отечественных и международных премий.

Уход Гурия Ивановича фактически совпал с ликвидацией стройной организационной структуры, сложившейся за долгие годы существования АН СССР. В сентябре 2013 г. вышел закон о реформировании Академии наук, согласно которому все её научные институты были переданы в исполнительный орган федеральной власти. Формально президиум, отделения и общее собрание РАН остались, но теперь главный смысл их существования — научно-организационное управление всем научным процессом — был утерян и оказался во власти “успешных менеджеров”. Список печально известных дел Федерального агентства научных организаций (к счастью, ликвидированного), а также Министерства науки и высшего образования РФ достаточно обширен. Прекращено финансирование программ фундаментальных исследований президиума и отделений РАН, а также интеграционных проектов, составлявших основу научного планирования, неадекватное подобие которого осуществляют министерские госзадания для институтов.

Сейчас во всём мире актуальна проблема научной молодёжи, особенно сильно обострившаяся в последние годы в России. Не снижающаяся эмиграция наших талантливых выпускников в очередной раз подтверждает перефразированную истину: “если страна не может прокормить свою науку, она будет кормить науку чужую”. В особо критическом положении находятся такие ключевые направления, как суперкомпьютерные вычисления, математическое предсказательное моделирование и программное обеспечение нового поколения с обработкой огромных объёмов данных на основе искусственного интеллекта, которые призваны стать кровеносной системой всех областей знаний и сфер человеческой деятельности. Начиная с 2021 г. в мире насчитывается уже несколько десятков ЭВМ эксафлопсной производительности (10^{18} операций в секунду), и их распределение по регионам служит хорошим показателем передовых достижений разных стран.

В России же такие мегаустановки пока только ожидаются.

Ситуация, сложившаяся с российской наукой, очевидно, требует перемен. Здесь уместно напомнить, что 8 февраля 2024 г. исполняется 300 лет Российской академии наук, а 8 июня 2025 г. — 100 лет со дня рождения Гурия Ивановича Марчука. Эти круглые даты достойны того, чтобы ещё раз переосмыслить отечественный и мировой опыт управления наукой, чтобы профессионально начертить ту дорожную карту, которая выведет нашу страну на путь научно-технического прогресса и устойчивого развития общества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурий Иванович Марчук. Биобиблиографический указатель (1950–2015 гг.). К 90-летию со дня рождения // Материалы к биобиблиографии сибирских учёных / Сост. Л.А. Мандрина. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2015.
2. Дымников В.П., Ильин В.П., Лаврова А.К., Лыкосов В.Н. Учёный, учитель, гражданин. К 90-летию со дня рождения академика Г.И. Марчука // Вестник РАН. 2015. № 5–6. С. 538–547.
3. Наш Марчук. 2-е расш. изд. / Отв. ред. В.П. Ильин, А.К. Лаврова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017.
4. Марчук Г.И. Избранные труды. В 5 т. Т. 1. Методы вычислительной математики / Отв. ред. В.И. Агошков. М.: РАН, ИВМ, 2018.
5. Марчук Г.И. Избранные труды. В 5 т. Т. 2. Сопряжённые уравнения и анализ сложных систем / Отв. ред. В.Б. Залесный, В.И. Агошков, В.П. Шутяев. М.: РАН, ИВМ, 2018.
6. Марчук Г.И. Избранные труды. В 5 т. Т. 3. Модели и методы в задачах физики атмосферы и океана / Отв. ред. В.П. Дымников. М.: РАН, ИВМ, 2018.
7. Марчук Г.И. Избранные труды. В 5 т. Т. 4. Математическое моделирование в иммунологии и медицине / Отв. ред. Г.А. Бочаров. М.: РАН, ИВМ, 2018.
8. Марчук Г.И. Избранные труды. В 5 т. Т. 5. Методы расчёта ядерных реакторов / Отв. ред. В.П. Шутяев. М.: РАН, ИВМ, 2018.
9. Марчук Г.И. Наука управлять наукой / Отв. ред. В.П. Дымников, В.П. Ильин. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015.

К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко. Природоподобная технология комплексного освоения недр — проблемы и перспективы.

М.: Научтехлитиздат, 2020. 368 с.

© 2023 г. И. Ю. Рассказов^{а,*}

^аХабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН, Хабаровск, Россия

*E-mail: rasskazov@igd.khv.ru

Поступила в редакцию 07.04.2023 г.

После доработки 07.04.2023 г.

Принята к публикации 26.04.2023 г.

Ключевые слова: комплексное освоение недр, антропосфера, техносфера, перспективные горные технологии, коэволюционная геоэкология освоения недр.

DOI: 10.31857/S0869587323050092, **EDN:** VXBRNW

Мы живём в эпоху ускоряющейся экологизации общественного сознания. Эта тенденция находит своё отражение, в частности, в непрерывно следующих друг за другом форумах самого разного уровня, посвящённых рассмотрению масштабных экологических рисков, обусловленных темпами развития антропосферы на нашей планете. Современная Россия полностью вписывается в мировой антикризисный сценарий поворота глобального и локального целеполагания к реализации принципов устойчивого развития на основе ограничений, которые диктует экологический императив. Однако при выборе путей достижения соответствующих целей необходимо ориентироваться на географические параметры и геоэкономические особенности нашей страны, а также на отраслевую специфику создаваемой техносферы.

Монография К.Н. Трубецкого и Ю.П. Галченко вносит существенный, а во многом и определяющий вклад в поиск перспективной и соответствующей требованиям быстро меняющегося мира технологической парадигмы освоения минеральных ресурсов недр. В ней современные особенности эколого-инновационного развития отечественного минерально-сырьевого комплекса отражены в трёх крупных смысловых блоках: обоснование и развитие общей теории техногенного преобразования литосферы с целью освоения её минеральных ресурсов (гл. 1, 2); создание когнитивной структуры перспективных горных технологий для различных морфологических ти-

пов месторождений (гл. 3–5); определение экологических условий внутреннего развития и энергоснабжения природно-технических систем освоения недр (гл. 6, 7).

Книгу открывает лаконичное авторское введение, в котором представлена содержательная постановка проблемы, раскрываются многоплановость труда и его методологическое единство, обосновываются пути реализации новых технологических идей, призванных обеспечить экологически приемлемое размещение элементов горной техносферы в структурах основных геосфер и естественной биоты Земли.

В материалах первого тематического блока дано чёткое представление о месте, масштабах и значении минеральных ресурсов литосферы для современной технократической цивилизации. Приведены абсолютные и относительные показатели динамики объёмов добычи твёрдых полезных ископаемых в соотношении с народонаселением Земли и общей биологической продуктивностью естественной экосистемы. Авторы убедительно показывают, что в настоящее время идеология общества потребления построена исключительно на опережающем (по отношению к народонаселению) росте экстенсивно развивающегося минерально-сырьевого комплекса с угрожающими темпами накопления твёрдых отходов на земной поверхности. Определено новое содержание понятия *коэволюционной геоэкологии освоения недр* в условиях устойчивого развития. Детально изучены механизмы локального изменения физического состояния литосферы в связи с извлечением полезного ископаемого. Впервые построены физико-техническая и геомеханиче-

РАССКАЗОВ Игорь Юрьевич — член-корреспондент РАН, директор ХФИЦ ДВО РАН.

ская модели техногенно изменённых недр как нового литосферного и экологического объекта. Введено и обосновано понятие *геофизического экотона* — содержательного аналога экотона биологического. Выполнен анализ системы причинно-следственных связей между техногенно изменёнными недрами и основными геосферами Земли, построена общая структура и иерархия значимости геофакторов, изменяющих состояние природной среды в процессе освоения минеральных ресурсов литосферы.

Нельзя не отметить в качестве важного результата предпринятый авторами комплекс фундаментальных исследований по раскрытию содержания современных императивов коэволюции человека и природы. На этой основе определены условия коэволюции антагонистических составляющих природно-горнотехнических систем освоения недр и обосновано биологическое содержание понятия *экологической безопасности* горной технологии. На основе методологии конвергенции биологических и технических знаний развиты основные положения теории создания *природоподобных горных технологий*. Выдвинута гипотеза о том, что уровень экологической безопасности технологических геосистем по отношению к системам биологическим пропорционален степени единообразия принципов функционирования каждой из них. В процессе разработки этой гипотезы были выделены принципы функционирования биологических систем, определяющих движение вещества и энергии, одновременное действие которых обеспечивает полную экологическую чистоту их взаимодействия с окружающей биотой. Учитывая антагонистический характер противоречий между техно- и биосферой, методические подходы к определению функциональной структуры новых конвергентных горных технологий построены на известных положениях гомеостатики о способах поддержания жизненно важных параметров несовместимых систем путём управления противоречиями с заменой содержательных элементов биологического гомеостата на их технологические аналоги. Предложена оригинальная трактовка понятия *комплексного освоения недр* и методика его количественной оценки через соотношение разделяющихся объёмов добытого вещества литосферы при бифуркации его потока на каждом технологическом уровне горно-обогачительного передела.

Второй тематический блок монографии (гл. 3–5) посвящён путям воплощения биогенных принципов построения конвергентных горных технологий в конкретные технологии разработки реальных месторождений. Это своего рода методологическое пособие по превращению знаний об экологически эффективном функционировании биологических систем в умение вести добычу полезных ископаемых в режиме коэволюционного

параллельного развития. Созданные базовые конструкции можно рассматривать как концепт дальнейшего инновационного развития геотехнологий при наличии ограничений экологического императива. Форма раскрытия созидательного смысла этого концепта полностью зависит от особенностей геологического строения разрабатываемых объектов литосферы. Для изометрических рудных тел большой мощности предложены “каркасная” и “сотовая” схемы конвергентной горной технологии. Для месторождений жильного типа — схемы построения геотехнологии с выемкой руды прирезками по простиранию рудных тел крутого и пологого падения. Для разработки трубкообразных рудных тел созданы схемы конвергентной горной технологии с выемкой руды вертикальными слоями с закладкой, которые, в зависимости от наличия флюидонесущих горизонтов, предусматривают опережающее возведение оконтуривающего искусственного массива. Использование при этом активных методов управления вторичным напряжённым состоянием горных массивов в техногенно изменённых недрах позволяет сбалансировать интенсивность техногенных воздействий с устойчивостью биоты природных экосистем на уровне сохранения её способности к самовосстановлению после снятия техногенной нагрузки в связи с полной отработкой балансовых запасов месторождения.

В третьем тематическом блоке (гл. 6 и 7) авторы обращаются к проблемам нормативного и энергетического обеспечения добычных работ при использовании конвергентных горных технологий. В отличие от остальных разделов книги, здесь только обоснован круг проблем, без разрешения которых перевод функционирования техносферы на принципы устойчивого развития останется красивым, но не достижимым намерением, особенно в сфере недропользования. Показано, что изменение целеполагания в направлении экологического императива делает совершенно необходимым создание принципиально новой системы нормирования и оценки степени экологической опасности горного производства для окружающей среды, которая учитывала бы не только разнообразие форм техногенных воздействий, но и различия в функциональном назначении и биологической структуре нарушаемых экосистем. В качестве одного из возможных решений этой проблемы предложена методика дифференцированной оценки экологического вреда в экосистемах “второй природы” — через потерю их хозяйственной продуктивности, а в экосистемах естественной биоты Земли — через величину неденежного универсального показателя экологической цены конечного продукта горного производства.

Понимая, что кардинальное разрешение современного экологического кризиса невозможно

без развития методов эффективного использования энергии природных возобновляемых источников, К.Н. Трубецкой и Ю.П. Галченко достаточно детально рассмотрели эту перспективу для минерально-сырьевого комплекса. Оценив в общем виде очевидную возможность привязки горных предприятий к локальным системам отбора энергии природных водотоков различного масштаба, авторы сосредоточились на новых способах использования возобновляемой энергии, связанных с особенностями предлагаемых конвергентных технологий. Утверждается, что использование “каркасных” горных технологий открывает совершенно новую, причём вполне реальную перспективу возврата к массовому применению гравитационной отбойки руды в режиме управляемого самообрушения со всеми вытекающими отсюда экологическими и экономическими преимуществами. Обозначена также перспектива компенсации энергозатрат на добычные работы за счёт отбора энергии встречающихся нисходящих потоков шахтных вод, раздробленной горной массы и закладочных смесей.

Совершенно по-новому рассмотрены в книге и возможности использования “отрицательной” разницы теплового баланса территорий в качестве возобновляемого источника энергии при освоении месторождений в криолитозоне. Показано, что использование криогеоресурса районов дислокации месторождений открывает новые возможности для применения технологий с замкнутым циклом обращения вещества литосферы и восстановлением в выработанном пространстве массива многолетней мерзлоты, нарушенного при извлечении полезного ископаемого. Впечатляет и широта замысла, который можно охарактеризовать как стремление создать общую

теорию и методологию совместного развития горной техносферы и литосферы без вывода региональной биосферы из области гомеостаза, и диапазон охвата рассматриваемых проблем от доказательства биологического антагонизма человека и природы до раскрытия механизмов управляемого самообрушения руды и возможностей использования криогеоресурса многолетней мерзлоты. Главным достоинством книги является скрупулёзная проработка каждой научно-технической задачи от гипотезы, через анализ ограничений и синтез новых подходов до патентоспособных технологических решений.

В целом монография К.Н. Трубецкого и Ю.П. Галченко подводит промежуточный итог двадцатилетних фундаментальных исследований по обоснованию путей экологизации технологической парадигмы недропользования, поддержанных 9 грантами РФФИ и 2 грантами РНФ. Впервые горная технология рассматривается не как обыденная причина экологических проблем освоения недр, а как деятельная часть коэволюционного единства антагонистов, в котором свойства и параметры технической составляющей определяются характеристиками и условиями самовосстановления биоты нарушаемых добычными работами экосистем.

В методологическом плане результаты этой работы можно рассматривать как возможное решение ноосферной задачи академика В.И. Вернадского применительно к проблеме комплексного освоения ресурсов литосферы. Поэтому монография представляет собой когнитивную и отчасти социальную институционализацию конвергентной горной технологии в качестве нового научного направления в системе горных наук.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

НАГРАДЫ И ПРЕМИИ

DOI: 10.31857/S0869587323050122, EDN: CVHJJW

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ Е.М. ПРИМАКОВА 2022 ГОДА – А.М. ВАСИЛЬЕВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. Е.М. Примакова 2022 года академику РАН Алексею Михайловичу Васильеву за книги “От Ленина до Путина. Россия на Ближнем и Среднем Востоке” и “Король Фейсал: личность, эпоха, вера”.

А.М. Васильев провёл ряд выдающихся исследований в области международных отношений на Ближнем и Среднем Востоке, а также в Африке. Итогом его многолетней работы стала монография “От Ленина до Путина. Россия на Ближнем и Среднем Востоке”. Автор пришёл к выводу, что советский период представляет собой противоречивое взаимодействие реальных государственных интересов нашей страны с мессианством — задачей распространения коммунистиче-

ской системы на Ближний и Средний Восток. В постсоветское время во главу угла были поставлены государственные интересы, что привело к реформативному отношению со странами региона с учётом взаимных национальных интересов.

Влияние “нефтяного фактора” на общественно-политическую и экономическую жизнь Ближнего и Среднего Востока и международную политику анализируется в книге “Король Фейсал: личность, эпоха, вера”. На основе уникальных источников автор изучил ведущую роль Саудовской Аравии, создание ОПЕК, а затем, вместе с РФ и ОПЕК+, значение этого фактора в глобальной энергетике. Кроме того, А.М. Васильев как автор-первооткрыватель социально-политического содержания ваххабизма раскрывает значение ислама и исламизма / политического ислама в общественной жизни, международной политике и экономике региона.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ И.В. КУРЧАТОВА 2023 ГОДА – Е.П. ВЕЛИХОВУ И М.В. КОВАЛЬЧУКУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. И.В. Курчатова 2023 года академику РАН Евгению Павловичу Велихову и члену-корреспонденту РАН Михаилу Валентиновичу Ковальчуку за цикл работ “Разработка, создание и использование ядерно-физических мегаустановок для междисциплинарных исследований и энергетики”.

Авторы провели множество исследований, направленных на решение глобальных задач научно-технологического развития. Они внесли выдающийся вклад в формирование и совершенствование ядерно-физической инфраструктуры России и создали научно-техническую базу, обеспечивающую прогресс в сфере ядерной энергетики в настоящее время и в долгосрочной перспективе. Под руководством учёных была выдвинута, обоснована и реализована концепция организации и расширения национальной сети уникальных экспериментальных установок класса мега-сайенс, которая послужила основой для развития атомной науки и техники. Среди достижений следует отметить создание и запуск крупнейшего в мире источника нейтронов — реакторного комплекса “ПИК” в Гатчине, глубокая модернизация уникального специализированного источника синхротронного излучения “КИСИ-Курчатов”, сооружение крупнейшей в стране

термоядерной установки мирового уровня “Токамак Т-15МД”.

С помощью особой междисциплинарной инфраструктуры исследований и разработок удалось добиться выдающихся для национальной экономики результатов: получены новые малоактивируемые стали для корпусов атомных реакторов, созданы промышленные технологии восстановления и продления ресурса атомных реакторов, новые титановые сплавы и технологии их обработки для корпусов ядерных реакторов.

В своих работах Е.П. Велихов и М.В. Ковальчук предложили принципиально новую концепцию согласованного развития ядерной и термоядерной энергетики, открывающую путь к формиро-

ванию чистой ядерной энергетики, основанной на принципе радиационно-эквивалентного захоронения. Разработана концепция распределённой малой ядерной энергетики с целью энергообеспечения Арктического и других труднодоступных регионов. Проведён комплекс исследований в области замыкания жизненного цикла объектов ядерной энергетики. В эксплуатацию ГК “Росатом” передан уникальный инженерно-технический комплекс хранения реакторных отсеков подводных лодок и переработки радиоактивных отходов в районе населённого пункта Сайда-Губа, позволяющий безопасно использовать атомную энергию в Арктическом и прилегающих регионах.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ В.П. ГОРЯЧКИНА 2023 ГОДА – М.Н. ЕРОХИНУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. В.П. Горячкина 2023 года академику РАН Михаилу Никитевичу Ерохину за цикл работ в области земледельческой механики и механизации сельского хозяйства.

М.Н. Ерохин — известный учёный в области технического обслуживания сельскохозяйственной техники и повышения её надёжности, внёсший крупный вклад в решение фундаментальных проблем износа и долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин, износостойкости материала рабочего орга-

на и давления почвы на рабочую поверхность орудия. Получены математические модели для определения износостойкости различных по химическому составу и твёрдости сталей и наплавочных материалов с целью прогнозирования ресурса рабочих органов в условиях абразивного изнашивания. Разработаны технологии изготовления рабочих органов по критериям износостойкости, ударной вязкости, прочности орудий почвообрабатывающих машин с использованием белых износостойких чугунов и технической керамики. Создан ряд технологических процессов повышения износостойкости трибосопряжений. Новизна научно-технических разработок подтверждена 25 авторскими свидетельствами и патентами на изобретения.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ А.Н. КОСТЯКОВА 2022 ГОДА – Л.В. КИРЕЙЧЕВОЙ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. А.Н. Костякова 2022 года доктору технических наук Людмиле Владимировне Кирейчевой (ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова) за цикл работ “Эколого-энергетическое обоснование комплексных мелиораций: технологии и технические решения”.

Сферу научных интересов автора составляет разработка основ создания и управления мели-

оративными системами, технологий прецизионного регулирования агроэкосистемы средствами комплексной мелиорации для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Л.В. Кирейчевой выполнена энергетическая оценка мелиоративной деятельности, позволяющая прогнозировать продукционный потенциал сельскохозяйственных земель в зависимости от количества вкладываемой энергии при ведении мелиоративной и сельскохозяйственной деятельности. Рассчитаны величины турбулентной энергоотдачи в естественных условиях и при выполнении мелиораций для различных зональных поясов России.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ И.В. ДАВЫДОВСКОГО 2022 ГОДА – Е.А. КОРНЕВОЙ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. И.В. Давыдовского 2022 года академику РАН Елене Андреевне Корневой за серию работ “Взаимодействие нервной и иммунной систем в норме и при патологии”.

В работах обоснованы новые подходы к изучению механизмов участия центральной нервной системы (ЦНС) в регуляции функций иммунной системы. Труды автора, посвященные изучению корректирующих влияний нервной и эндокринной систем на органы и клетки иммунной системы, внесли существенный вклад в развитие фундаментальных представлений в области нейроиммунотуляции. На основе совокупности полученных результатов раскрыты важные аспекты нейроиммунного взаимодействия, сформированы представления о двух формах нейроэндокринной модуляции функций иммунной системы – стратегической (связанной с регуляцией потенциальных возможностей иммунной системы) и тактической (реализуемой непосредственным влиянием нервных и эндокринных стимулов на функционирующие клетки).

Е.А. Корнева впервые установила специфичность алгоритмов ответа клеток ЦНС на введение

конкретных антигенов и разработала новые методы прогнозирования развития заболеваний, вызванных нарушением нейроиммунных взаимодействий, а также путей их коррекции. Результаты исследования участия орексин-содержащих нейронов гипоталамуса в регуляции нейроиммунных взаимодействий при стрессе и на ранних этапах иммунного ответа свидетельствуют о возможности разработки методов адресного воздействия на эти процессы. Достижения в области изучения антибиотических соединений открывают перспективы для получения антибиотиков с оптимальными свойствами на основе эндогенных антибиотических пептидов и наноконструктов. Корнева создала новое направление в патологии – изучение молекулярно-клеточных основ взаимодействия нейромедиаторов и гормонов с лимфоцитами на уровне мембран лимфоидных клеток, что стало основой для расшифровки тонких механизмов передачи нервных и эндокринных воздействий на функции лимфоидных клеток. Её работы способствуют дальнейшему развитию принципиально нового направления современной медицины, которое обосновывает рациональность применения природных пептидно-белковых факторов для нормализации процессов нейроиммунотуляции в целях профилактики и лечения заболеваний различной природы.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ С.П. БОТКИНА 2022 ГОДА – А.И. МАРТЫНОВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. С.П. Боткина 2022 года академику РАН Анатолию Ивановичу Мартынову за цикл работ по фундаментальной, клинической и популяционной терапии.

Автор представил фундаментальный разбор проблемы дисплазии соединительной ткани. Показана социальная значимость этой патологии, разработаны критерии диагностики и лечения, выявлены особенности состояния сердечно-сосудистой системы, центральной нервной системы и других органов.

А.И. Мартынов сохраняет приоритет в применении антикоагулянтов в условиях поликлиники, одновременном использовании показателей артериального давления в сочетании с электрокардиографией, эхокардиографией и сцинтиграфией

с таллием-201 во время пробы с физической нагрузкой с целью ранней диагностики патологии сердца и превентивной терапии. Им впервые были описаны критерии диагностики безболевой ишемии миокарда. Кроме того, он стал основоположником разработки и клинического изучения первого отечественного препарата группы ненасыщенных жирных кислот Омега-3. Препараты этой группы сейчас широко используются в России и вошли в клинические рекомендации по коррекции нарушений липидного обмена. Мартынов инициировал поиск нового метода изучения микроциркуляции с помощью отечественного аппарата “ОКО”, который имеет большую перспективу и значимость в исследовании сосудистой патологии, контроле эффективности проводимой терапии и оценке влияния различных лекарственных средств. Академик создал научную школу, которая занимается внедрением результатов фундаментальных и клинических исследований в медицинскую практику.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ П.К. АНОХИНА 2023 ГОДА – С.С. ПЕРЦОВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. П.К. Анохина 2023 года члену-корреспонденту РАН Сергею Сергеевичу Перцову за серию работ “Изучение роли эндогенных иммуноактивных веществ в механизмах формирования эмоций”.

Работы посвящены исследованию физиологических механизмов возникновения различных эмоциональных состояний. На протяжении 15 лет (2007–2022) автор делал особый акцент на оценке роли эндогенных иммуноактивных соединений в поддержании гомеостаза организма при воздействии эмоциогенных факторов. Выявлены особенности вовлечения веществ с иммуномодулирующими свойствами, в частности, цитокинов и нейrogормонов, в нейрофизиологические, биохимические и молекулярные процессы как в условиях физиологической нормы, так и при патологии. Получены новые данные о роли лимбико-ретикулярных структур мозга в генезе эмоционального стресса, развитии нервно-гуморальных и вегетативных нарушений

при стрессорных нагрузках. Показана специфика химической чувствительности нервных клеток центральной нервной системы к иммуноактивным веществам при эмоциональных стрессорных воздействиях. Представлены доказательства, указывающие на участие иммунных молекул в изменении болевой чувствительности в условиях острого и хронического стресса.

С.С. Перцов сформулировал оригинальную концепцию о вовлечении эндогенных иммуноактивных веществ в формирование молекулярных и нейрохимических свойств нейронов мозга, согласно которой нейроиммунные факторы не только активно участвуют в периферических механизмах, но и определяют нейрохимическую интеграцию мотивационно-эмоционального возбуждения и играют регулируемую роль на ряде стадий центральной архитектуры функциональных систем. Эта концепция имеет большое значение для физиологической науки, а также открывает широкие возможности для разработки препаратов на основе эндогенных иммуномодуляторов с целью предупреждения или уменьшения степени отрицательных последствий эмоциональных стрессорных воздействий.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ Н.Н. БЛОХИНА 2022 ГОДА – М.И. СЕКАЧЕВОЙ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. Н.Н. Блохина 2022 года доктору медицинских наук Марине Игоревне Секачевой (Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава РФ) за серию работ “Разработка и внедрение цифровых персонализированных методов диагностики и прогнозирования при онкологических заболеваниях”.

В представленном цикле работ сформирован новаторский подход применения методов искусственного интеллекта, включая методики машинного обучения, для создания персонализированного прогноза развития онкологических заболеваний. Автор впервые представила биостатистическую платформу для ранней диагностики злокачественных новообразований на основе методик искусственного интеллекта. Она позволяет создать риск-стратифицированную модель ранней

диагностики за счёт использования комплекса из 16 биомаркеров и применения нескольких классификационных моделей с последующим усреднением модельных результатов.

Впервые сформулирована концепция “цифрового двойника” онкологического пациента с применением инновационных методик анализа данных. В ходе разработки системы были созданы модули цифрового предиктора назначения противоопухолевой терапии рака лёгкого, кишки и почки на основании клинических, генетических и транскриптомных данных, а также данных микроэлементного анализа опухолевой ткани.

М.И. Секачева создала новое направление в онкологии — цифровую персонализированную онкологию, для которой характерно применение современных методов обработки больших массивов информации, в том числе данных реальной клинической практики и результатов секвенирования генетического материала опухолевых и здоровых клеток пациента.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ В.Н. СУКАЧЁВА 2022 – Д.И. БЕРМАНУ



Президиум РАН присудил премию им. В.Н. Сукачёва 2022 года доктору биологических наук Даниилу Иосифовичу Берману (Институт биологических проблем Севера ДВО РАН) за монографию “Зимовка и холодоустойчивость беспозвоночных на северо-востоке Азии” и пять научных статей.

В работах отражены результаты многолетних исследований адаптивных стратегий пойкилотермных беспозвоночных и позвоночных животных в отношении отрицательных температур и их фауногенеза в регионе с вечной мерзлотой. Проведён анализ механизмов адаптации к низким температурам широкой группы беспозвоночных из разных систематических групп (полужесткокрылые, жесткокрылые, перепончатокрылые, прямокрылые, моллюски, малощетинковые кольчатые черви), у которых жизненный цикл полностью или частично проходит в почве.

Показано, что развитие способности переносить низкие температуры, а также формирование биохимических структур, обуславливающих эту особенность, не связаны с систематической при-

надлежностью вида. Исследования проводились в более чем 100 разнообразных экосистемах, находящихся в условиях резко континентального климата. Происходящие климатические изменения затрагивают беспозвоночных, приводя к существенным негативным последствиям. В частности, их ареалы (особенно ареалы видов насекомых, повреждающих древесные растения и сельскохозяйственные культуры) сдвигаются к северу. Идёт активное распространение ряда инвазионных видов. Данные, представленные в монографии, дают полезную информацию для анализа возможности распространения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus*), короеда-типографа (*Ips typographus*), таких инвазионных вредителей, как уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus*) и союзный короед (*Ips amitinus*), или типичного арктического вида ларенции осенней (*Epirrita autumnata*), дающей вспышки размножения на Крайнем Севере.

Исследования Д.И. Бермана представлены в ведущих журналах и обладают научной новизной в области экологии животных. По сути, он создал новое направление в экологии пойкилотермных животных и внёс значительный вклад в развитие полярной экологии и зоологии.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ И.И. ШМАЛЬГАУЗЕНА 2022 ГОДА – А.Б. ВАСИЛЬЕВОЙ



Президиум РАН присудил премию им. И.И. Шмальгаузена 2022 года кандидату биологических наук Анне Борисовне Васильевой (Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН) за цикл работ “Эволюция онтогенеза амфибий”.

Индивидуальное развитие амфибий отличается чрезвычайным разнообразием, что делает эту группу превосходным объектом для изучения путей и механизмов эволюции онтогенеза позвоночных животных. Одна из важнейших особенностей развития земноводных — стадия метаморфоза, в результате которого водная личинка превращается в наземную взрослую особь. Возникновение метаморфоза и эволюция связан-

ных с ним морфологических преобразований — интереснейший вопрос биологии, в изучение которого огромный вклад внесли советский биолог И.И. Шмальгаузен, его ученики и последователи.

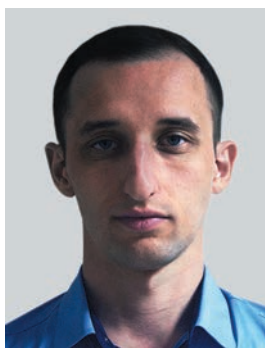
Вклад А.Б. Васильевой в развитие соответствующих представлений основан на многолетнем комплексном изучении амфибий, включающем современные сравнительно-морфологические и экспериментальные подходы, а также полевые исследования многообразия репродуктивной биологии земноводных. Экспериментальные исследования влияния гормонов щитовидной железы на развитие скелетной системы хвостатых и бесхвостых земноводных убедительно показали, что роль этих эндокринных факторов в эволюции амфибий постепенно возрастала от примитивных к более продвинутой формам. Изучение эмбрионализации у амфибий (то есть утраты личиночных этапов развития путём перехода их в эмбриональ-

ный период) позволило выявить ключевые гетерохронные перестройки онтогенеза в становлении прямого развития позвоночных.

В ходе изучения репродуктивной биологии тропических амфибий в лесных экосистемах Юго-Восточной Азии (Вьетнам) — одного из центров мирового разнообразия земноводных, были впервые описаны личиночные формы многих видов бесхвостых амфибий, а также выявлены но-

вые типы их репродуктивных специализаций, в частности, освоение амфибиями древесных микрородов, облигатная оофагия (поедание икры своего вида) у головастика разных групп и связанные с ней конвергентные морфологические адаптации. По результатам полевых исследований выявлены экологические факторы, определяющие особенности онтогенеза различных амфибий и направления его эволюции.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Д.С. РОЖДЕСТВЕНСКОГО 2022 ГОДА — А.К. ВЕРШОВСКОМУ И А.К. ДМИТРИЕВУ



Президиум РАН присудил премию им. Д.С. Рождественского 2022 года доктору физико-математических наук Антону Константиновичу Вершовскому и кандидату физико-математических наук Александру Константиновичу Дмитриеву (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН) за работу “Методы возбуждения оптически детектируемого магнитного резонанса в азотно-вакансионных центрах окраски в алмазе”.

Азотно-вакансионный центр окраски в алмазе (NV-центр) применяется во многих областях науки и техники, что объясняется такими его уникальными свойствами, как широкие полосы поглощения в видимой области спектра, высокая фотостабильность, наличие долгоживущих спиновых состояний. На фоне многочисленных исследований NV-центров цикл работ А.К. Вершовского и А.К. Дмитриева выделяется простотой и элегантностью использованных средств, а также количеством и качеством новых важных результатов. В отличие от других исследований в этой сфере авторы получили результаты, относящиеся

к наиболее сложной области слабых магнитных полей.

Среди большого числа полученных новых физических эффектов следует выделить следующие. Обнаружены интенсивные резонансы при двухчастотном возбуждении в высокочастотном и сверхвысокочастотном диапазонах, на основе которых возможно создание сверхкомпактного, устойчивого к ускорениям и вибрациям стандарта частоты. Открыт оптически детектируемый сверхузкий высокочастотный чисто ядерный переход в основном состоянии NV-центра, что позволяет управлять состояниями ядра оптическими средствами. Зафиксирован и исследован оптически детектируемый резонанс, возникающий в условиях антипересечения уровней в нулевом магнитном поле. Последнее достижение особенно важно, так как открывает возможность создания датчика магнитного поля с уникальными характеристиками, позволяющими применять их для исследования переменных магнитных полей биологических объектов, в первую очередь головного мозга.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Б.Н. ПЕТРОВА 2022 ГОДА –
А.А. ГАЛЯЕВУ, П.В. ЛЫСЕНКО И В.П. ЯХНО



Президиум РАН присудил премию им. Б.Н. Петрова 2022 года члену-корреспонденту РАН Андрею Алексеевичу Галееву, Павлу Владимировичу Лысенко и кандидату технических наук Виктору Павловичу Яхно (Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН) за цикл работ “Траекторное управление скрытностью подвижных объектов с неоднородной индикатрисой излучения”.

Цикл посвящён вопросам траекторного управления скрытностью подвижных объектов с неод-

нородной индикатрисой излучения и отражает актуальное наукоёмкое направление исследований и разработок как в России, так и за её пределами. Цель такого управления – заметное ослабление или исключение демаскирующих признаков физических полей, в том числе акустических (первичного и вторичного), магнитного и гидрофизического. Представленные материалы – результат многолетних работ, выполненных в лабораториях ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Л.А. АРЦИМОВИЧА 2022 ГОДА –
С.В. ГОЛУБЕВУ, И.В. ИЗОВУ И В.А. СКАЛЫГЕ



Президиум РАН присудил премию им. Л.А. Арцимовича 2022 года доктору физико-математических наук Сергею Владимировичу Голубеву, кандидату физико-математических наук Ивану Владимировичу Изотову и доктору физико-математических наук Вадиму Александровичу Скалыге (ФИЦ “Институт прикладной физики РАН”) за цикл работ “Экспериментальное исследование ЭЦР разряда, поддерживаемого в осесимметричных магнитных ловушках мощным излучением

миллиметрового диапазона длин волн, как сильноточного источника ионов”.

Результаты работ по исследованию разряда, поддерживаемого в открытых магнитных ловушках мощным миллиметровым излучением гиротронов в условиях электронно-циклотронного резонанса, продемонстрировали возможность существенного, более чем на порядок, увеличения плотности плазмы, что позволило перейти к квазигазодинамическому режиму удержания плазмы и обеспечило генерацию пучков протонов и дей-

тронов без примесей молекулярных ионов с рекордными характеристиками. Разработаны и испытаны сильноточные источники пучков ионов, удовлетворяющие всем требованиям современных ускорителей тяжёлых частиц. Достижения в

формировании сильноточных качественных пучков дейтерия позволили разработать мощный компактный D-D-генератор нейтронов, который представляется перспективным для нейтронной радиографии и медицинских приложений.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА 2022 ГОДА – Т.А. ГОРШКОВОЙ



Президиум РАН присудил премию им. К.А. Тимирязева 2022 года доктору биологических наук Татьяне Анатольевне Горшковой (Казанский научный центр РАН) за монографию “Клеточная стенка как динамичная система” и цикл работ по одноимённой тематике.

Т.А. Горшкова — ведущий российский учёный с мировым именем в области физиологии растений. Её работы посвящены изучению механизмов роста растительных клеток, формированию представлений о растительной клеточной стенке как о ключевой надмолекулярной структуре растительного организма, динамично изменяющейся при развитии и специализации клеток. Эти труды уже более 20 лет занимают важное место в разделе мировой науки, связанном с модификацией клеточной стенки с целью направленного изменения

свойств растительного сырья. Использование широкого спектра физико-химических и биохимических методов исследования, оригинальных технологий оценки механических свойств клеточных стенок, молекулярно-биологических подходов позволило коллективу под руководством Горшковой выявить взаимосвязь структуры индивидуальных соединений с их свойствами и функцией в растительном организме. Ею совместно с коллегами впервые получены приоритетные данные о так называемых “мышцах” растений и показано, что их действие основано на полисахаридах и локализовано в уникально сконструированной высокоцеллюлозной клеточной стенке, которая откладывается специфически в волокнах. Результаты исследований опубликованы в престижных российских и иностранных научных журналах (Q1). О признании автора мировым сообществом свидетельствует высокий индекс цитирования её работ по Web of Science — около 2000.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Л.А. ОРБЕЛИ 2022 ГОДА – Е.А. ИЛЬИНУ



Президиум РАН присудил премию им. Л.А. Орбели 2022 года доктору медицинских наук Евгению Александровичу Ильину (Институт медико-биологических проблем РАН) за цикл работ “Адаптация организма животных и человека к изменённым условиям окружающей среды”.

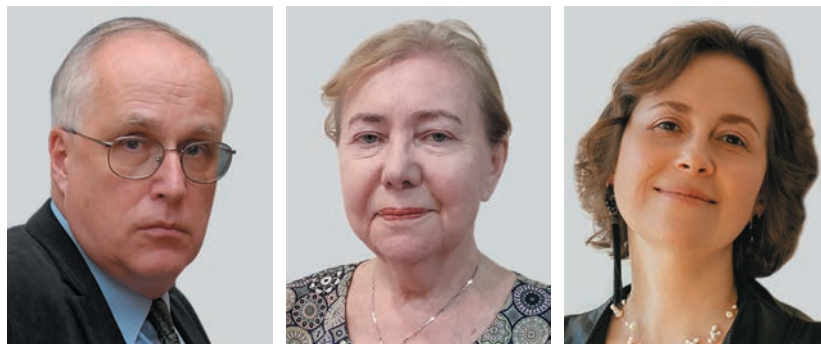
В работах рассматривается влияние на организм таких изменённых факторов окружающей среды, как невесомость (микрогравитация), гипобарическая гипоксия, гипокинезия, социальная и физическая изоляция, необычная светопериодичность суток. Экспериментальными базами служили автоматические (беспилотные) космические летательные аппараты, станция “Восток”

в Антарктиде — самое климатически суровое место на нашей планете, а также термокамера с моделированием в ней изменённых параметров среды обитания. Изучение на животных механизмов адаптации к условиям невесомости было проведено во время орбитальных полётов автоматических космических аппаратов серии “Космос”. Результаты этих экспериментов подтвердили предположения о способности организма адаптироваться к невесомости и отсутствию обусловленных ею патологических изменений. Продемонстрирована физиологическая роль естественной гравитации в процессах жизнедеятельности организмов различного уровня развития. Полученные результаты использованы при обосновании возможности осуществления человеком длительных космических полётов без ущерба для здоровья и профессиональной деятельности.

Исследования Е.А. Ильина в Антарктиде позволили определить адаптивные способности организма, медицинские риски и их значимость для жизни и работы человека в экстремальных условиях планеты и длительных космических полётах.

Автор продолжает дело академика Л.А. Орбели в изучении взаимосвязи организма с окружающей средой и влияния изменённой среды обитания на его жизнедеятельность, рост и развитие.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ М.М. ШЕМЯКИНА 2022 ГОДА –
С.Н. КОЧЕТКОВУ, Л.А. АЛЕКСАНДРОВОЙ И А.Л. ХАНДАЖИНСКОЙ



Президиум РАН присудил премию им. М.М. Шемякина 2022 года академику РАН Сергею Николаевичу Кочеткову, кандидату химических наук Людмиле Александровне Александровой и кандидату химических наук Анастасии Львовне Хандажинской (Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН) за цикл работ “Аналоги нуклеозидов – прототипы лекарственных средств против социально значимых инфекций”.

Авторы внесли заметный вклад в синтетическую химию нуклеозидов и в решение проблем создания новых лекарственных препаратов. Впервые был синтезирован ряд малотоксичных ингибиторов роста *Mycobacterium tuberculosis*, одинаково эффективных как в отношении чувстви-

тельных штаммов, так и штамма со множественной лекарственной устойчивостью к основным антитуберкулёзным препаратам. Противотуберкулёзная активность ряда полученных соединений сравнима с действием применяемых в медицинской практике препаратов первой линии. Однако тот факт, что эти соединения с одинаковой эффективностью подавляют рост чувствительного и резистентного штаммов *M. tuberculosis*, демонстрирует их возможность стать прототипами новых противотуберкулёзных препаратов. Результаты работ представлены в более чем 100 публикациях в ведущих международных и российских журналах, что убедительно отражает высокий уровень исследований.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Н.Д. КОНДРАТЬЕВА 2022 ГОДА –
В.И. МАЕВСКОМУ, С.Ю. МАЛКОВУ И А.А. РУБИНШТЕЙНУ



Президиум РАН присудил премию им. Н.Д. Кондратьева 2022 года академику РАН Владимиру Ивановичу Маевскому, доктору технических наук Сергею Юрьевичу Малкову, кандидату эконо-

мических наук Александру Александровичу Рубинштейну (Институт экономики РАН) за цикл работ “Новая теория воспроизводства капитала и её практическое применение”.

Цикл посвящён новой теоретической концепции, объясняющей логику экономического роста сменой лидерства поколений основного капитала. Речь идёт о проблеме представления основного капитала разного возраста (например, оборудование, подлежащее обновлению в текущем году, и оборудование, срок замены которого наступит в будущие периоды) при описании денежно-продуктовых кругооборотов. Введение в теорию идеи о переключающихся режимах воспроизводства основного капитала позволяет выстраивать простую логику мотивации экономических решений, использующих не только внешние (рыночные), но и внутренние для организации возможности. Это становится особенно важным в условиях появления всё более крупных компаний, монополизации рынков и частой смены доминирующих технологий.

Достоинством работ и подтверждением практической значимости предложенного теоретического подхода выступает разработка на его основе математических моделей и их использование для расчётов на реальном статистическом материале. Ещё одним ключевым достижением авторов стало теоретическое объяснение феноменов “номинальной жёсткости цен”, “капитализации денег” и “не-нейтральности денег” в долгосрочном пе-

риоде. Всё это позволяет в ином свете увидеть логику макроэкономических и макрофинансовых процессов и предложить альтернативные решения возникающих в национальной экономике проблем. Перечисленные результаты исследований нашли практическое применение при подготовке рекомендаций федеральным министерствам и ведомствам, отвечающим за проведение национальной экономической политики, использовались при разработке учебных курсов в ряде ведущих отечественных вузов экономического профиля.

Работы внесли значительный вклад в современную экономическую теорию, позволяя находить решение сложных теоретических и методологических вопросов: научный анализ и обоснование государственной макроэкономической и макрофинансовой политики; выбор целей, задач и основных направлений долгосрочного социально-экономического развития страны; способы измерения количественных и качественных параметров развития; принятие решений, позволяющих улучшать национальную монетарную политику, повышать эффективность инвестиционных процессов, обеспечивать благоприятные структурные сдвиги в экономике.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ А.М. ЛЯПУНОВА 2022 ГОДА – А.Е. МИРОНОВУ



Президиум РАН присудил премию им. А.М. Ляпунова 2022 года члену-корреспонденту РАН Андрею Евгеньевичу Миронову (Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН) за цикл работ “Коммутирующие обыкновенные дифференциальные операторы большого ранга”.

А.Е. Миронов рассматривает фундаментальную классическую проблему математической и теоретической физики – описание коммутирующих дифференциальных операторов. Она имеет более чем 100-летнюю историю и привлекала внимание известных учёных своей глубокой связью с алгебраической геометрией, теорией нелинейных дифференциальных уравнений и други-

ми областями математики, а также весьма содержательными физическими приложениями. В цикле работ впервые за много лет представлена новая конструкция, позволяющая строить пары коммутирующих операторов для случая, когда соответствующая этим операторам алгебраическая спектральная кривая имеет произвольный род, больший 1, а размерность соответствующего пространства собственных функций равна 2. Это продвижение удалось получить на основе интегрирования найденного автором обобщения классического уравнения С.П. Новикова и И.М. Кричевера. Труды А.Е. Миронова внесли большой вклад в теорию коммутирующих дифференциальных операторов, широко цитируются специалистами и открывают новые перспективы для приложений теории дифференциальных уравнений.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ А.С. ПУШКИНА 2022 ГОДА – С.Л. НИКОЛАЕВУ



Президиум РАН присудил премию им. А.С. Пушкина 2022 года доктору филологических наук Сергею Львовичу Николаеву (Институт славяноведения РАН) за монографию «“Слово о полку Игореве”: реконструкция стихотворного текста».

В книге впервые предложена реконструкция древнерусского текста “Слова” как стихотворного, ритмически организованного произведения. Чтобы увидеть метрику текста, необходимо было по законам исторической фонетики восстановить в определённых позициях слабые редуцированные

звуки и расставить ударения с учётом знаний в области славянской исторической акцентологии. Труд С.Л. Николаева, предлагающий новое прочтение “Слова о полку Игореве” на основе современных методик исследования языковой природы памятника, его художественной структуры, метра, ритма, акцентной системы и лексики, открывает новую страницу в истории изучения этого древнейшего произведения русской литературы. Это исследование, опирающееся на новейшие достижения современной российской и мировой филологии, вносит существенный вклад во многие области отечественной гуманитарной науки, особенно в стиховедение, изучение истории русского литературного языка и древнерусской литературы.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Б.Б. ГОЛИЦЫНА 2021 ГОДА – К.В. ТИТОВУ, Г.В. ГУРИНУ И П.К. КОНОСАВСКОМУ



Президиум РАН присудил премию им. Б.Б. Голицына 2021 года доктору геолого-минералогических наук Константину Владиславовичу Титову, кандидату геолого-минералогических наук Григорию Владимировичу Гурину, кандидату геолого-минералогических наук Павлу Константиновичу Коносовскому (Санкт-Петербургский государственный университет) за цикл научных работ “Развитие теории, экспериментальной базы и методики применения поляризационных методов геоэлектрики (естественного электрического поля и вызванной поляризации)”.

Удостоенный премии цикл научных работ включает 37 статей в российских и международных рецензируемых высокорейтинговых журналах. В них представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований авторского

коллектива в области динамично развивающегося направления геофизики – поляризационной геоэлектрики.

Междисциплинарные исследования выполнены на стыке геофизики, петрофизики и физической химии (коллоидной химии и электрохимии). Предложена модель вызванной поляризации электрически анизотропных горных пород и на её основе разработан метод оконтуривания горных массивов, содержащих золото и минералы платиновой группы. Предложен и теоретически обоснован новый механизм мембранной поляризации пород, обусловленный неоднородностью минералогического состава их твёрдой фазы, что позволило повысить эффективность применения поляризационных методов геоэлектрики в рудной геологии и гидрогеологии. Детально рассмотрены в теоретическом плане и в

экспериментах явления вызванной поляризации горных пород, обусловленной совместным действием естественного электрического поля и течения флюида в пористой среде.

Результаты, представленные в цикле научных работ, внесли весомый вклад в теоретическую геофизику и нашли применение в практической геологоразведке.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ П.Н. ЯБЛОЧКОВА 2021 ГОДА –
В.Ю. ХОМИЧУ И С.И. МОШКУНОВУ



Президиум РАН присудил премию им. П.Н. Яблочкова 2021 года академику РАН Владиславу Юрьевичу Хомичу и члену-корреспонденту РАН Сергею Игоревичу Мошкунову за цикл работ “Создание и исследование генераторов высоковольтных импульсов на основе полупроводниковых коммутаторов”.

Цикл работ посвящён разработке, созданию и исследованию высоковольтных генераторов импульсов на полупроводниковой основе. В нём описаны основные принципы построения составных твердотельных коммутаторов на биполярных транзисторах с изолированным затвором для питания ряда электротехнических и электрофизических систем и установок.