

ISSN (print) 0869-5873
ISSN (online) 3034-5200



Российская Академия Наук

Номер 7

Июль 2025



ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК HERALD OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES



НАУКА

— 1727 —

ВСЕПРЕВЕДАШИИ ДЕРЖАВ
ИМПЕРИИ
ИМПЕРИИ
ИМПЕРИИ

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 7, 2025

Наука и общество

- В.И. Данилов-Данильян, С.А. Подольский*
Экологические, социально-экономические и технические
риски строительства Нижне-Зейской ГЭС и альтернативные решения 3
- С.Н. Чвалун, М.А. Шербина, А.В. Быстрова, А.М. Музафаров*
Концепция решения проблемы полимерных отходов и очистки Мирового океана 14
-

С кафедры президиума РАН

- А.В. Фёдоров*
Связь науки и практики в деятельности следственного комитета Российской Федерации 23
-

Проблемы экологии

- С.А. Кондратьев, С.Д. Голосов, И.С. Зверев, А.М. Расулова*
Термогидродинамика озёр зоны многолетней мерзлоты России: ретроспективная оценка
и прогноз изменений в XXI веке 32
-

За рубежом

- Н.Е. Петровская, М.А. Черных*
Эволюция китайской иммиграции в США: исторические и современные аспекты 43
-

Обозрение

- Д.А. Долгих*
Биоинженерия рекомбинантных белков: от структуры к функции и биологической активности 55
- И.А. Аксенова, Е.Г. Камкин, Е.В. Каракулина, Н.М. Пиковская,
А.А. Кучерявый, О.В. Ходакова, О.Ю. Александрова*
Центр амбулаторной онкологической помощи – целевая организационная модель оказания
медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями на амбулаторном этапе 61
-

Этюды об учёных

- Т.И. Ульянкина*
“Изумительный дар научного воображения и предвидения”
К 180-летию со дня рождения почётного члена Императорской академии наук И.И. Мечникова 68
- В.П. Ильин*
Математика, научно-технический прогресс и национальная идея
К 100-летию со дня рождения академика Г.И. Марчука 81
-
-

CONTENTS

No. 7, 2025

Science and Society

V.I. Danilov-Danilyan, S.A. Podolsky

Environmental, socio-economic and technical risks of construction of the Nizhne-Zeyskaya hydroelectric power station and alternative solutions 3

S.N. Chvalun, M.A. Shcherbina, A.V. Bystrova, A.M. Muzařarov

Concept for solving the problem of polymer waste and cleaning the World Ocean 14

From the Rostrum of the RAS Presidium

A.V. Fedorov

Relationship between science and practice in the activities of the Investigative Committee of the Russian Federation 23

Ecological problems

S.A. Kondratyev, S.D. Golosov, I.S. Zverev, A.M. Rasulova

Thermohydrodynamics of lakes in the permafrost zone of Russia: Retrospective assessment and forecast of changes in the 21st century 32

Abroad

N.E. Petrovskaya, M.A. Chernykh

Evolution of Chinese immigration to the U.S.: Historical and contemporary aspects 43

Review

D.A. Dolgikh

Engineering recombinant proteins: From structure to function and biological activity 55

I.A. Aksenova, E.G. Kamkin, E.V. Karakulina, N.M. Pikovskaya,

A.A. Kucheryavy, O.V. Khodakova, O.Yu. Aleksandrova

Outpatient oncology center – target organizational model of providing medical care to cancer patients at the outpatient stage 61

Profiles

T.I. Ulyankina

“The amazing gift of scientific imagination and foresight”

To the 180th anniversary of the birth of the Honorary Member of the Imperial Academy of Sciences I.I. Mechnikov

68

V.P. Ilyin

Mathematics, scientific and technical progress and national idea

On the 100th anniversary of the birth of Academician G.I. Marchuk

81

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РИСКИ СТРОИТЕЛЬСТВА НИЖНЕ-ЗЕЙСКОЙ ГЭС И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

© 2025 г. В.И. Данилов-Данильян^{а*}, С.А. Подольский^{а**}

^аИнститут водных проблем РАН, Москва, Россия

*E-mail: vidd38@yandex.ru

**E-mail: sergpod@mail.ru

Поступила в редакцию 23.03.2025 г.

После доработки 23.03.2025 г.

Принята к публикации 10.05.2025 г.

Строительство Нижне-Зейской ГЭС, крупнейшей из проектируемых в настоящее время в России, предусмотрено Генеральной схемой размещения объектов электроэнергетики до 2042 г. В статье рассматривается комплекс последствий создания этой ГЭС, обоснован вывод о нецелесообразности её сооружения. Нижне-Зейское водохранилище резко сократит крайне важные для устойчивости экосистем региона экологические коридоры меридионального направления, повлечёт уменьшение биоразнообразия, значительно снизит эффективность по крайней мере четырёх особо охраняемых природных территорий. В социально-экономическом плане следует ожидать весьма существенного для местного населения оскудения охотничьих ресурсов, сокращения рыбного стада – наиболее ценных промысловых рыб, чувствительных потерь сельхозугодий – пахотных земель, пастбищ, сенокосов, трудностей с судоходством, уменьшения рекреационной ценности территории. Защитная противопаводковая роль водохранилища не будет значительной, перехват такого же объёма паводковых вод в регионе можно обеспечить с гораздо меньшими затратами и за более короткие сроки. В настоящее время Приамурье не испытывает потребности в дополнительной электроэнергии, но если для развития региона она понадобится, то, как показано в статье, прирост её производства можно обеспечить альтернативными способами – как ГЭС на других створах притоков Амура, так и строительством АЭС и ТЭС на природном газе, более безопасных экологически и эффективных экономически.

Ключевые слова: река Зeya, Нижне-Зейская ГЭС, Приамурье, защита от наводнений, водохранилище, экологические последствия, экосистема, особо охраняемая природная территория, краснокнижный вид, альтернативный вариант.

DOI: 10.31857/S0869587325070017, EDN: FHOIDE



ДАНИЛОВ-ДАНИЛЬЯН Виктор Иванович – член-корреспондент РАН, научный руководитель ИВП РАН. **ПОДОЛЬСКИЙ** Сергей Анатольевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела качества вод и экологии ИВП РАН.

В статье [1] анализировалась проблема защиты от наводнений в бассейне р. Амур и аргументировалась нецелесообразность строительства с этой целью Селемджинской и Нижне-Зейской ГЭС. Задача поиска эффективных решений этой проблемы была поставлена Президентом Российской Федерации В.В. Путиным в августе 2021 г. по итогам совещания, где обсуждалась ситуация с паводками и лесными пожарами [2]. Президент РФ поручил энергетикам рассмотреть возможность создания ГЭС на реках Селемджа и Ниман. Компания “РусГидро” безальтернативно выбрала для проектирования и возведения Селемджинскую и Нижне-Зейскую ГЭС. В упомянутой статье [1] было отмечено, что известно не менее шести мест возможного размещения ГЭС на левобережье Амура, и показано, что две упомянутые ГЭС – самые опасные экологически, наиболее

дорогостоящие и неэффективные в отношении защиты от наводнений. При этом основное внимание было уделено Селемджинской ГЭС.

В июле 2023 г. Межрегиональная общественная организация “Экспертный совет по заповедному делу” направила председателю Правительства России письмо о негативных последствиях строительства этих ГЭС с экспертным заключением. В нём обосновано, что строительство Селемджинской ГЭС не решит проблему борьбы с экстремальными паводками, но при этом создаст целый комплекс острейших экологических и социально-экономических проблем, к тому же оно противоречит федеральным законам “Об особо охраняемых территориях”, “Об охране окружающей среды” и “О животном мире”, а также Стратегии экологической безопасности РФ на период до 2025 г. [3]. В январе 2024 г. эта тема обсуждалась за “круглым столом”, организованным Комиссией по экологии и устойчивому развитию Общественной палаты РФ [4]. В материалах по итогам этого заседания указано на неоправданные экологические риски проектов новых ГЭС в бассейне Амура и предпочтительность альтернативного комплексного подхода к предотвращению негативных социальных и экономических последствий наводнений и развитию энергетики в этом регионе.

Эксперты обратили особое внимание на следующие обстоятельства: ещё в 1988 г. проект Селемджинской ГЭС (тогда она называлась Дагмарской) был отклонён Государственной экспертизой СССР как экологически опасный; многочисленные социально-экологические издержки, связанные с его реализацией, показаны на основе комплексных исследований (2014–2016) в рамках проекта Программы развития ООН, Глобального экологического фонда и Минприроды РФ “Организация и выполнение мониторинга (включая предпроектный мониторинг) состояния биоразнообразия в зонах воздействия проектируемых, строящихся и эксплуатируемых гидроэнергетических объектов в Амурской области” [5]. Согласно опубликованному проекту Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 г. [6], скорректированной по итогам общественного обсуждения, было решено отказаться от планов строительства Селемджинской ГЭС. Однако такое решение представляется неполным, поскольку проект Нижне-Зейской ГЭС в этом варианте Генеральной схемы остался, а её строительство также представляет значительную экологическую опасность, причём водохранилище этой ГЭС само по себе, не будучи заблокированным с водохранилищем Селемджинской ГЭС, не имеет реального противопаводкового значения [1]. Резервная ёмкость проектируемого Нижне-Зейского водохранилища (1.3 км³) многократно ниже той, что можно получить при модернизации водовода Зейской ГЭС (6 км³) без ущерба для живой природы и народного хозяйства [1]. Отказ от Нижне-Зейской

ГЭС в пользу альтернативных экологически приемлемых вариантов гидростроительства и энергообеспечения будет способствовать устойчивому развитию Приамурья и Дальнего Востока в целом.

ОСНОВНЫЕ УГРОЗЫ ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Угрозы особо охраняемым природным территориям (ООПТ) и сопредельным участкам с повышенным биоразнообразием. Нижне-Зейский гидроузел окажет прямое влияние на два региональных заказника (государственный природный зоологический заказник “Иверский”, государственный природный зоологический заказник “Усть-Тыгдинский” с охранной зоной) и косвенное влияние на две федеральных ООПТ (государственный природный заказник “Орловский”, государственный природный заповедник “Норский”), а также на один региональный заказник (государственный природный зоологический заказник “Верхне-Депский”).

Одним из основных последствий предполагаемого гидростроительства на Иверский заказник будет существенное снижение плотности населения диких копытных (сибирская косуля, изюбрь, кабан), которая здесь приближается к максимальным региональным показателям. Это встречается нечасто, а потому представляет особую экологическую ценность. Не менее важно полное перекрытие магистральных миграционных путей косуль, в том числе охраняемых на федеральных ООПТ (Орловский заказник и Норский заповедник). При расположении створа ГЭС в урочище Граматуха часть Иверского заказника будет затоплена водохранилищем. Перенос плотины на 45 км выше по течению позволит избежать затопления заказника, но не устранил опасность для миграционных путей косуль и местных переходов других животных. Миграции косуль через Зею в районе проектируемого Нижне-Зейского гидроузла в осенне-зимний период чаще всего происходят при ледоставе. Переправа через незамерзающую полынью при наличии ледовых заборов чревата массовой гибелью косуль, что неоднократно наблюдалось в нижнем бьефе Зейского гидроузла [7]. Следует добавить, что с левобережья Зеи к Иверскому заказнику примыкает зона повышенного биоразнообразия и продуктивности зоокомплексов (от устья р. Зверихи до устья р. Селемджи), где нами были отмечены значительные концентрации копытных (косуля, изюбрь, кабан), рыси, маньчжурского зайца, рябчика и других охотничьих животных, а также зарегистрировано присутствие редких охраняемых видов наземных позвоночных – филина, мандаринки, солонгоя [5]. Здесь же находятся местообитания ещё нескольких охраняемых видов: сахалинской гадюки, малого перепелятника, степного хоря, двухцветного колана и др. [8]. Всё сказанное о влиянии гидростроительства на Иверский заказник в полной мере относится и к участку левобережья р. Зеи.

При любом варианте размещения плотины Нижне-Зейское водохранилище затопит часть Усть-Тыгдинского заказника и его охранной зоны, а также территорию повышенного биоразнообразия и продуктивности зоокомплексов, примыкающую к устью р. Деп. Следует ожидать резкого снижения плотности населения диких копытных (сибирская косуля, изюбрь, лось, кабан), которая здесь значительно выше средней. Кроме того, искусственный водоём полностью перекроет миграционные пути Верхне-Депской популяционной группировки косуль. С точки зрения ущерба редким охраняемым видам животных наиболее значимым будет затопление района, примыкающего к устью р. Деп (рис. 1). В результате исчезнут или существенно пострадают важнейшие местообитания целого ряда видов, занесённых в красные книги РФ и/или Амурской

области: осетра, калуги, сахалинской гадюки, чёрного аиста, дальневосточного аиста, мандаринки, косатки, нырка Бэра, дальневосточного кроншнепа, амурского волчка, филина, орлана-белохвоста, скопы, большого подорлика, куторы, солонгоя [6]; непосредственно в устье р. Тыгды отмечалось присутствие амурского тигра [8].

Обширные водно-болотные угодья в устье р. Деп – это место сезонных концентраций водоплавающих и околоводных птиц. Здесь останавливаются на пролёте тысячи уток и гусей. Здесь же в октябре 2015 г. наблюдалось уникальное предолётное скопление чёрных аистов – одновременно в поле зрения находилось не менее 20 птиц (рис. 2). Такие скопления этого редкого вида ранее в Амурской области не регистрировались. Экологическая угроза местной группировке чёрного аиста после

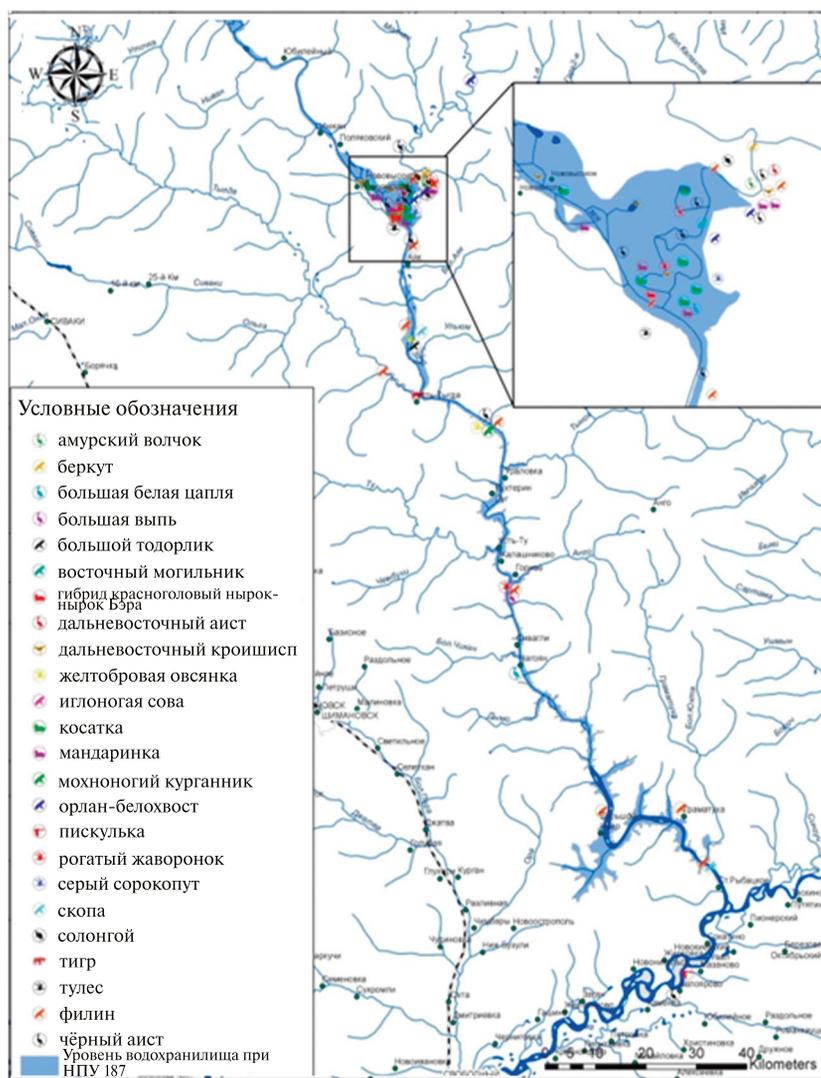


Рис. 1. Редкие охраняемые виды наземных позвоночных, обитающие в зоне влияния проектируемого Нижне-Зейского гидроузла, и места их регистрации. Врезкой показана зона повышенного биоразнообразия в районе устья р. Деп

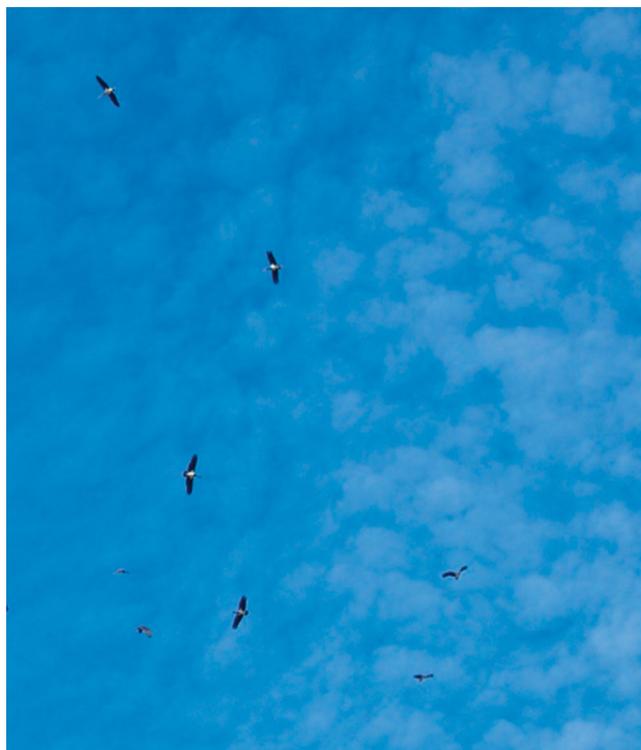


Рис. 2. Предотлётное скопление чёрных аистов над зоной затопления проектируемого Нижне-Зейского водохранилища (район устья р. Дёп – напротив охранной зоны Усть-Тыгдинского заказника), сентябрь 2015 г.

Фото С.А. Подольского

затопления указанного района предмиграционных скоплений, необходимого для успешного выполнения дальнейшей южной миграции, может иметь существенное, если не катастрофическое (учитывая размер наблюдаемого скопления) значение для всей дальневосточной популяции вида.

Полностью перекрыв миграционные пути норской популяционной группировки косуль к местам зимовок на правом берегу Зеи, Нижне-Зейское водохранилище окажет ощутимое косвенное негативное влияние на охраняющие этих животных федеральные ООПТ – Орловский заказник и Норский заповедник, а также на региональный Верхне-Депский заказник. В обычные по снежности годы большинство косуль Норской группировки зимуют на территории Орловского заказника. Однако после сильных снегопадов поздней осенью – в начале зимы, примерно раз в 4–5 лет косули с левобережья Зеи (включая норских) активно переправляются на правый берег. При наличии водохранилища и незамёрзавшей полыни такие миграции чреваты периодической массовой гибелью животных, что приведёт к значительному снижению поголовья косуль Орловского заказника и Норского заповедника. Таким же будет косвенное влияние водохра-

нилища на Верхне-Депский заказник: косули этой популяционной группировки будут периодически гибнуть на верхней части искусственного водоёма во время сезонных миграций.

Угроза последней крупной мигрирующей популяции сибирской косули. Бассейн среднего течения р. Зеи (включая бассейн р. Селемджи) – единственное место в нашей стране, где до сих пор происходят массовые сезонные переправы сибирских косуль через крупные реки. Животные, относящиеся к Норской популяционной группировке, ежегодно дважды преодолевают реки Нору или Селемджу, совершая сезонные миграции между весенне-летними и зимними станциями (местообитаниями). Отказ от строительства Селемджинской ГЭС устранил опасность одновременной гибели большинства косуль, приносящих потомство в Норском заповеднике и зимующих в Орловском заказнике. Однако при создании Нижне-Зейского гидроузла в долгосрочной перспективе массовая гибель угрожает всем косулям левобережья Средней Зеи, включая находящихся под защитой на федеральных ООПТ (Норский заповед-

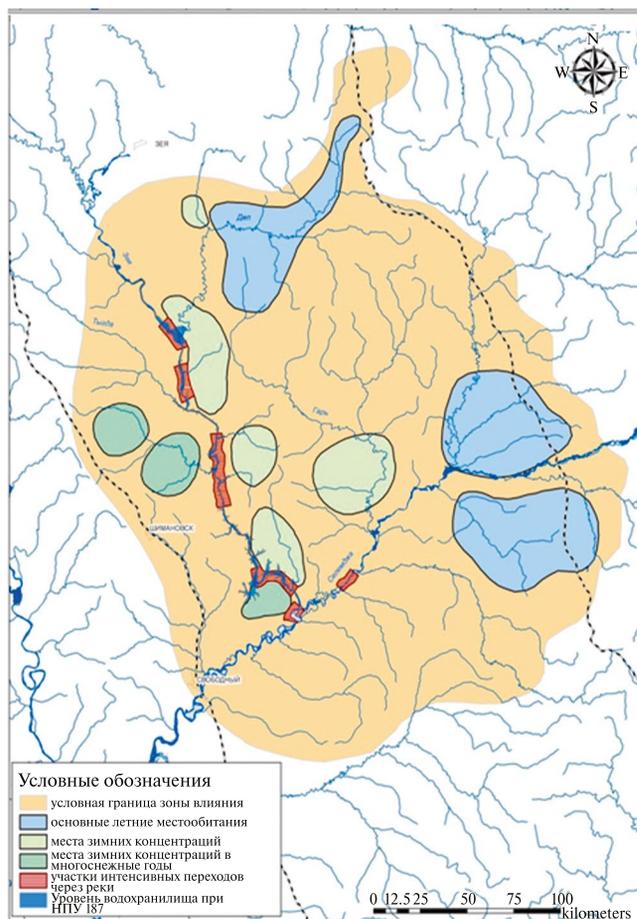


Рис. 3. Влияние проектируемого Нижне-Зейского гидроузла на мигрирующие популяционные группировки косуль бассейна Средней Зеи

ник, Орловский заказник) и региональных заказниках (Верхне-Депский заказник, Усть-Тыгдинский заказник). В многоснежные годы, поздней осенью или в начале зимы отмечаются массовые переходы косуль с левого на правый берег Зеи. Места таких переправ выше плотины ГЭС будут полностью перекрыты Нижне-Зейским водохранилищем, а ниже плотины – незамерзающей полыньей (рис. 3). Хотя подобные миграции нерегулярны и происходят примерно раз в 4–5 лет, они не менее масштабны, чем на Норе и Селемдже. Например, в конце ноября – начале декабря 2015 г. в районе проектируемого водохранилища через Зею переправилось по льду более 3 тыс. косуль.

Массовая гибель животных при подобных переходах отмечалась на Бурейском водохранилище. Так, в конце ноября – начале декабря 2006 г. только в заливе Чеугды провалилось под лёд и утонуло около 400 косуль (рис. 4) [9]. Это произошло потому, что на водохранилищах надёжный ледовый покров устанавливается значительно позже, чем на реках. На Нижне-Зейском водохранилище при осенне-зимних миграциях следует ожидать настоящей катастрофы. Масштабы единовременной гибели косуль на этом искусственном водоёме и незамерзающей полынье по разным оценкам могут составить от 3 до 8 тыс. особей. Животные будут периодически гибнуть на переправах в течение 12–15 лет, вплоть до практически полной деградации всей левобережной популяции бассейна средней Зеи, включая Норскую и Верхне-Депскую группировки. Особая уязвимость косуль левобережья Средней Зеи, по сравнению с Бурей, связана с тем, что все миграционные пути этих животных направлены поперёк участков долины Зеи, нарушаемых гидросооружениями, а не вдоль русла, как на Буре. В результате значительная часть Зейской популяции раньше или позже погибнет при



Рис. 4. Останки косули, провалившейся под лёд и погибшей на Чеугдинском заливе Бурейского водохранилища при осенне-зимней миграции 2006 г.
Фото С.Ю. Игнатенко

попытках переправиться через водохранилище или от бескормицы, потеряв доступ к местам, оптимальным для зимовки при многоснежье. С полной определённой об этой опасности высказались эксперты на проведённом Общественной палатой РФ 16 января 2024 г. круглом столе на тему “Экологическая безопасность и строительство гидроэлектростанций в Амурской области” [4], что отмечено в Рекомендациях Общественной палаты РФ [10].

Угроза потери биоразнообразия северной части Приамурья вследствие разрушения Зейского магистрального экологического коридора. В бассейне Амура поймы и долины крупных рек представляют собой систему магистральных экологических коридоров, по которым десятки тысячелетий (начиная с третичного периода) идёт межрегиональный обмен видами животных и растений. До создания Зейского водохранилища некоторые виды с южным типом ареала проникали на север вплоть до Зейского ущелья, Верхнезейской низменности и даже до предгорий Станового хребта. Многообразие пойменных биотопов благоприятно для околородных животных, но главное – оно обеспечивает проникновение видов с южным типом распространения далеко к северу от основных ареалов. Именно с этим связан тот факт, что в зоне влияния Нижне-Зейской ГЭС отмечено не менее 24 видов животных, занесённых в красные книги различного уровня (см. рис. 1). После возведения плотины Зейской ГЭС (1974) длина Зейского экологического коридора сократилась на 150–200 км. Распространение “южных” видов на север стало чётко ограничено южными предгорьями хребтов Тукурингра и Соктахан. В случае создания Нижне-Зейской ГЭС этот экологический коридор сократится ещё почти на 300 км. Большинство видов, относящихся к маньчжурскому и даурско-монгольскому фаунистическим комплексам, испытают значительное снижение численности. Многие из них (дальневосточная квакша, дальневосточная лягушка, узорчатый полоз, дальневосточная полёвка, длиннохвостый суслик, солонгой, степной хорь, некоторые редкие виды насекомых и др.) могут практически выпасть из состава животного населения бассейна Средней Зеи. Таким образом, появление Нижне-Зейской ГЭС приведёт к существенному обеднению животного мира и снижению биоразнообразия всей северной части Амурской области.

Следует отметить ещё одно обстоятельство, определяющее особую ценность экологических коридоров меридионального направления и необходимость их сохранения. При потеплении климата происходит своего рода миграция (смещение при неизбежных при этом изменениях биоценоза) экосистем на север (в северном полушарии). Для экосистем этот процесс протекает значительно более благоприятно при наличии экологических коридоров, поскольку они способствуют сохранению биоразнообразия, а следовательно, устойчивости экосистем.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УГРОЗЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕРЖКИ

Утрата биологических ресурсов. В результате перекрытия водохранилищем магистральных миграционных путей и массовой гибели на искусственном водоёме косуля навсегда потеряет роль основного охотничьего вида, играющего значительную роль в жизнеобеспечении местного населения. Падение численности коснётся и других промысловых видов — кабана, изюбря, лося, рыси, колонка, водоплавающих и куриных птиц. Богатейшие охотничьи угодья Зейского, Шимановского и Мазановского районов фактически утратят своё промысловое значение. При заполнении водохранилища происходят смена речных экосистем на озёрные и формирование новых зоо- и фитокомплексов. При этом неизбежно резкое снижение численности или элиминация большинства видов рыб-реофилов, среди которых несколько ценных промысловых: хариус, ленок, таймень, сиг. Водоохранилище кардинально нарушит участок периодических концентраций этих видов: нижнее течение и устье р. Дёп — излюбленное место рыбалки и отдыха жителей г. Зеи и Зейского района. После завершения строительства ГЭС полностью прекратятся миграции рыб через створ плотины. Прекращение нерестовой миграции проходной тихоокеанской миноги приведёт к полному исчезновению данного вида из биоценоза формирующегося водохранилища. Будет прекращена нерестовая и нагульная миграция из Амура в среднее течение р. Зеи таких видов осетровых, как калуга и амурский осётр зейско-буреинских популяций, занесённых в Красную книгу РФ, и они также исчезнут из сообщества рыб, обитающих выше плотины гидроузла. Неизбежное, но непродолжительное (несколько лет) поступление в заполняемое водохранилище значительного количества органики вызовет временный всплеск продуктивности лимнофильных видов рыб (амурская щука, серебряный карась, чебак и др.). Через несколько лет рыбопродуктивность искусственного водоёма многократно снизится, как это отмечалось на Зейском и Бурейском водохранилищах. Предотвратить значительное снижение численности рыб озёрного комплекса невозможно. Это явление представляет стадию сукцессии гидробиоценоза водохранилища. Ихтиофауна Средней Зеи резко обеднеет, в значительной степени из-за потери наиболее ценных пород рыб. Падение доступности и качества биологических ресурсов негативно скажется на уровне жизни местного населения, и без того невысоком.

Ущерб сельскому хозяйству. В верхнем бьефе водохранилища Нижне-Зейского гидроузла затопит наиболее ценные пойменные сельскохозяйственные угодья: пастбища, сенокосы и остродефицитные здесь пахотные земли. Резкие изменения паводкового режима в нижнем бьефе будут угрожать плодородию интенсивно используемых пахотных

земель. Залог устойчивости и продуктивности пойменных фитоценозов и сельскохозяйственных угодий — естественный режим затопления со значительной амплитудой колебаний уровня грунтовых вод. Неизбежные значительные нарушения этих показателей вследствие гидростроительства приведут к деградации пойменных территорий с падением их видового разнообразия и продуктивности, в том числе к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Подобные явления отмечались как в Европейской части России [11], так и в Сибири [12]. Хорошо известен и прецедент потери плодородия поймы Нила после перекрытия его Асуанской плотиной. В результате создания Нижне-Зейской ГЭС тысячи гектаров наиболее продуктивных пойменных сельскохозяйственных земель Мазановского и Свободненского районов, выведенных из-под регулярного влияния паводков, с высокой вероятностью постепенно утратят плодородие.

Потеря транспортного и снижение рекреационного значения р. Зеи. Плотина Нижне-Зейской ГЭС перекроет важнейший водный путь, по которому в город Зею велась и ведётся до сего времени доставка крупнотоннажных грузов, в том числе высокотехнологического оборудования для энергетики. Кроме того, выше устья Селемджи живописная долина Зеи с чередованием прибрежных скал, таёжных сопков, заливных и суходольных лугов предоставляет уникальные возможности для организации круизного туризма с использованием комфортабельного водного транспорта на маршруте Благовещенск — Зея; в случае сооружения Нижне-Зейского гидроузла эти возможности будут утрачены.

Опасность быстрого заиливания Нижне-Зейского водохранилища. Расположение Нижне-Зейского гидроузла крайне неудачно с геоморфологической точки зрения. Наличие рыхлых осадочных пород наряду со значительной протяжённостью участков побережья с крутыми склонами предопределяет резкую активизацию склоновых процессов (абразия и её последствия) после заполнения водохранилища. Кроме того, в среднем и нижнем течении Зеи преобладают аккумулятивные процессы, сочетающиеся с весьма значительной транспортирующей способностью реки, что необычно для аккумулятивных участков. Всё это говорит о повышенной опасности быстрого заиливания водохранилища, угрожающей эффективности работы ГЭС и безопасности плотины; предотвращение этих негативных явлений потребует постоянных весьма значительных затрат. Их оценки на основе прогнозов геоморфологических и русловых процессов, вызванных сооружением водохранилища, могут быть рассчитаны с использованием созданных в ИВП РАН гидрологических моделирующих комплексов (см. [13] и др.), но для этого необходима детальная проектная информация о водохранилище.

Опасность химического загрязнения почв и грунтовых вод. С 2006 г. около 850 т пестицидов было захоронено в неиспользуемых шахтах в Шимановском и Свободненском районах Амурской области. По данным областной природоохранной прокуратуры, упомянутые захоронения произведены без законных оснований, без получения положительного заключения экологической экспертизы [14]. Оба района частично попадают в зону влияния Нижне-Зейского водохранилища. В зависимости от места расположения плотины шахты, где произведены эти захоронения, при повышении уровня грунтовых вод могут быть подтоплены. В этом случае будет заражена не только почва (которую придётся очищать), но и грунтовые воды, эффективная очистка которых технически невозможна.

Увеличение сейсмической опасности для космодрома “Восточный”. В период наполнения и эксплуатации водохранилищ могут возникать землетрясения, которые проявляются в локальной сейсмичности на уровне регионов. От наведённых землетрясений (то есть обусловленных деятельностью человека) не гарантировано ни одно из крупных гидротехнических сооружений. Зарегистрировано множество землетрясений, произошедших в результате создания водохранилищ, в том числе Нурекского, Мид, Кариба и др. Количество толчков, вызванных заполнением водохранилищ, может быть очень велико, достигая сотен или тысяч [15, с. 56–57]. Учитывая большой запас прочности, закладываемый при строительстве крупных гидросооружений, наведённая сейсмичность, вероятно, не будет угрожать плотине Нижне-Зейской ГЭС. Однако землетрясения, вызванные заполнением водохранилища, могут оказать существенное негативное воздействие на высокотехнологичные сооружения космодрома “Восточный”, вплоть до аварийных ситуаций и/или невозможности проведения запланированных стартов.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ ГИДРОСТРОИТЕЛЬСТВА В ПРИАМУРЬЕ

Насколько необходимо возведение Нижне-Зейской ГЭС, сопряжённое со столь значительными экологическими, социально-экономическими и техническими издержками? Изначально основной причиной предполагаемого строительства называли защиту населения от экстремальных наводнений. По мнению специалистов, высказанному на упомянутом “круглом столе” в Общественной палате РФ [4], даже в случае создания двух новых водохранилищ (Нижне-Зейского и Селемджинского) они не смогли бы остановить экстремальные наводнения в густонаселённых районах Приамурья, но гарантированно создали бы целый комплекс острых социально-экологических проблем. После того как из Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 г. было исключено строи-

тельство Селемджинской ГЭС [6], противопаводковое значение Нижне-Зейской ГЭС представляется ничтожным или чисто символическим: резервная ёмкость проектируемого водохранилища составит не более 1.3 км³. Ремонт и/или модернизация водосброса Зейской ГЭС даст значительно больший эффект за счёт возможности дополнительно использовать имеющиеся 6 км³ противопаводковой ёмкости Зейского водохранилища. Причём это потребует значительно меньших финансовых затрат и не повлечёт каких-либо экологических потерь. Напротив, такая модернизация плотины Зейской ГЭС позволит открывать водосброс при уровне водохранилища ниже 317.5 м для экологических попусков – управляемых паводков с целью поддержания биоразнообразия пойменных экосистем, повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий в нижнем бьефе и получения других экологических выгод.

Главную роль в предотвращении негативных социальных последствий наводнений, которые являются характерной природной особенностью Приамурья, должен сыграть комплексный подход, включающий несколько основных направлений: зонирование территории по степени угрозы наводнений с учётом прогнозируемых изменений климата, с разработкой научно обоснованных норм для каждой зоны, включая запрет на капитальное строительство в незащищённых местах регулярного затопления; введение специальных норм для зданий, сооружений и планировки территорий с целью минимизации ущерба от наводнений; переселение людей из наиболее опасных при наводнениях мест; целесообразное огораживание защитными дамбами поселений, объектов инфраструктуры, хозяйственных построек и т.п.; расширение пропускной способности водотока под инженерными сооружениями (и около них) в поймах крупных рек (мост у Хабаровска и др.); создание в верховьях притоков второго порядка относительно небольших водохранилищ, не препятствующих сохранению биоразнообразия, усиливающих естественные водорегулирующие свойства крупных водно-болотных массивов; оптимизация использования противопаводковых ёмкостей существующих водохранилищ; заблаговременное планирование попусков из водохранилищ, включая экологические попуски; модернизацию и радикальное расширение системы гидрометеорологического мониторинга за счёт увеличения числа гидропостов, активизации дистанционных наблюдений, использования современных методов обработки информации, в том числе с целью повышения оперативности и точности прогнозов наполняемости водохранилищ; модернизацию и развитие системы оповещения населения; радикальное развитие системы страхования от последствий наводнений; укрепление группировки МЧС, в частности, повышение её мобильности и оснащённости техническими средствами. Все перечисленные мероприятия связаны между собой

общей целью, их эффективность зависит от результативности каждого из них [1]. Однако необходимо помнить, что регулярные наводнения в Приамурье вредят только людям, но не экосистемам, которые эволюционно адаптировались к ним, причём так, что эти “бедствия” стали необходимым условием устойчивого существования экосистем.

На IX Восточном экономическом форуме (3–6 сентября 2024 г.) чётко обозначено, что энергообеспечение Дальнего Востока будет ориентировано на первоочередное развитие атомной энергетики, что ещё острее ставит вопрос о целесообразности проектирования Нижне-Зейской ГЭС. Создание новых объектов гидрогенерации в регионе может быть нацелено главным образом на электрификацию БАМа. Из имеющихся перспективных гидроузлов для этой цели в наибольшей степени подходят Ниманский створ, расположенный в непосредственной близости от Нового Ургала (неофициальная столица Восточного БАМа) и Русиновский створ близ г. Февральск (станция на БАМе) (рис. 5). С экологической и социально-экономической точек зрения обе упомянутые перспективные ГЭС намного предпочтительнее Нижне-Зейской: они не оказывают ни прямого, ни существенного косвенного влияния на федеральные ООПТ; не нарушают важнейших миграционных путей диких копытных; в меньшей степени затрагивают систему региональных экологических коридоров; предполагают значительно меньший ущерб биологическим ресурсам, сельскому хозяйству и судоходству; не угрожают космодрому “Восточный”; не несут опасности химического загрязнения почв и грунтовых вод. Вполне допустимым представляется и строительство ГЭС на природном газе – по совокупному воздействию на

окружающую среду (то есть по всей технологической цепочке от добычи энергоносителя до очистки и утилизации/захоронения отходов) газовая энергетика пока остаётся самой экологичной.

Проблему электрификации БАМа и развития местных производств можно решить с ещё меньшими социально-экологическими издержками за счёт строительства Экимчанской ГЭС в верховьях р. Селемджа или Верхне-Ниманской ГЭС в верховьях р. Ниман (правый приток р. Буреи). Хотя обе упомянутые ГЭС находятся несколько дальше от БАМа, их створы, расположенные в самых верховьях притоков 2-го порядка, с экологической точки зрения, вероятно, можно считать наиболее приемлемыми. Для выбора оптимального альтернативного варианта гидростроительства в Приамурье необходимы специальные комплексные предпроектные исследования. Пока очевидно лишь одно: с точки зрения экологической безопасности и устойчивого развития любая из перечисленных ГЭС (Нижне-Ниманская, Верхне-Ниманская, Русиновская, Экимчанская) значительно предпочтительнее Нижне-Зейской.

* * *

Сравнивая проект Селемджинской ГЭС, отклонённый по результатам общественного обсуждения Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 г., с проектом Нижне-Зейской ГЭС, можно констатировать, что они сопоставимы по масштабам негативных экологических последствий, а по социально-экологическим и хозяйственно-техническим издержкам Нижне-Зейская ГЭС, может быть, даже опаснее Селемджинской.



Рис. 5. Перспективные ГЭС Приамурья, различающиеся по степени экологической опасности

Нижне-Зейский гидроузел окажет непосредственное негативное воздействие на два региональных заказника (Усть-Тыгдинский и Иверский), а также значительное косвенное воздействие на две федеральных (Норский заповедник, Орловский заказник) и одну региональную ООПТ (Верхне-Депский заказник), что противоречит ФЗ “Об особо охраняемых природных территориях”. Губительное влияние Нижне-Зейского водохранилища на сибирских косяль будет не таким быстрым, как Селемджинского, но в обозримой перспективе (12–15 лет) приведёт к аналогичным результатам – массовой гибели на переправах и деградации последней крупной мигрирующей популяции этого вида в России и в мире. Это прямое нарушение ФЗ “О животном мире”, запрещающего нарушение миграционных путей диких животных. Будут разрушены или кардинально нарушены места обитания не менее 24 видов наземных позвоночных, занесённых в красные книги РФ и/или Амурской области, в том числе место уникальных протолётных скоплений чёрных аистов в устье р. Деп. Выше плотины исчезнут такие виды осетровых, как калуга и амурский осётр зейско-буреинских популяций, занесённых в Красную книгу РФ. Магистральный Зейский экологический коридор, уже “обрезанный” Зейским водохранилищем на 150–200 км, сократится ещё примерно на 300 км, что приведёт к значимой потере биоразнообразия Северного Приамурья и сократит адаптационный потенциал экосистем региона к изменениям климата. Всё это противоречит федеральным законам “Об охране окружающей среды”, “О животном мире”, а также Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года.

Помимо общих для обоих проектов социально-экологических издержек – затопление населённых пунктов, ущерб сельскому и лесному хозяйству, значительные количественные (резкое падение продуктивности охотничьих угодий) и качественные (утрата поголовья ценных пород рыб) потери биоресурсов, ухудшение условий судоходства – для Нижне-Зейского гидроузла характерны уникальные специфические угрозы: опасность быстрого заиливания водохранилища, связанная с геоморфологическими особенностями территории; опасность химического загрязнения почв и грунтовых вод в случае подтопления мест складирования пестицидов; угроза космодрому “Восточный” из-за наведённой сейсмичности.

При чрезвычайной опасности возведение Нижне-Зейской ГЭС не имеет реального противопаводкового значения, противоречит трём федеральным законам и не соответствует стратегии развития энергетики, озвученной на IX Восточном экономическом форуме. Кому же может быть выгодна реализация этого проекта? Казалось бы, она отвечает корпоративным интересам гидростроителей, но и это не соответствует действительности. В долгосрочной перспективе пострадает и развитие

гидроэнергетики: резко негативный общественный резонанс чрезвычайно затруднит освоение богатых гидроэнергоресурсов Дальнего Востока и Сибири, которые пока используются не более чем на 30% [16].

При этом существуют экологически приемлемые альтернативные варианты гидростроительства, которые полностью отвечают государственной политике и могут способствовать как комплексному решению проблемы паводков (модернизация водовода Зейской ГЭС), так и электрификации БАМа (возведение ГЭС на р. Ниман или в верховьях р. Селемджи). Для выбора оптимального альтернативного варианта строительства ГЭС в Приамурье необходимы специальные комплексные исследования с привлечением независимых экологов, но уже сейчас очевидно, что любой из рассматриваемых гидроузлов (Нижне-Ниманский, Верхне-Ниманский, Русиновский, Экимчанский) будет значительно предпочтительнее Нижне-Зейского.

Прекратив проектирование Селемджинской ГЭС, ПАО “РусГидро” приняло важное решение, способствующее поддержанию положительного экологического имиджа компании. Следующим логичным шагом в этом направлении мог бы стать отказ от Нижне-Зейской ГЭС в пользу альтернативных экологически приемлемых вариантов гидростроительства в Приамурье.

Можно констатировать, что задачи по предотвращению негативных социальных последствий паводков и развитию энергетики на Дальнем Востоке могут быть успешно решены без строительства Нижне-Зейской ГЭС, сопряжённого с недопустимыми экологическими, социально-экономическими и техническими рисками. Напротив, альтернативные варианты будут способствовать устойчивому развитию региона при безусловном обеспечении экологической безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов-Данильян В.И., Подольский С.А. Комплексный подход к решению проблемы наводнений в бассейне Амура // Вестник РАН. 2024. № 8. С. 712–726.
Danilov-Danilyan V.I., Podolsky S.A. An integrated approach to solving the problem of floods in the Amur basin // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2024, no. 8, pp. 712–726. (In Russ.)
2. Совещание о ситуации с паводками и пожарами в регионах. <http://kremlin.ru/events/president/news/66335> A meeting on the situation with floods and fires in the regions. <http://kremlin.ru/events/president/news/66335> (In Russ.)
3. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636>

- Strategy for environmental safety of the Russian Federation for the period up to 2025. <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102430636> (In Russ.)
4. Об экологических рисках строительства новых ГЭС в Приамурье рассказали в Общественной палате РФ члены Экспертного совета по заповедному делу. <https://zapovedcouncil.ru/ob-ekologicheskikh-riskah-stroitelstva-novyh-ges-v-priamure-rasskazali-v-obshhestvennoj-palate-rf-chleny-ekspertnogo-soveta-po-zapovednomu-delu/>
The members of the Expert Council on Nature Reserves spoke about the environmental risks of building new hydroelectric power plants in the Amur Region in the Public Chamber of the Russian Federation. <https://zapovedcouncil.ru/ob-ekologicheskikh-riskah-stroitelstva-novyh-ges-v-priamure-rasskazali-v-obshhestvennoj-palate-rf-chleny-ekspertnogo-soveta-po-zapovednomu-delu/> (In Russ.)
 5. *Подольский С.А., Коцюк Д.К., Антонов А.И., Парулов М.П.* Оценка возможных угроз позвоночным животным при гидростроительстве в Дальневосточном регионе // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1. № 2. С. 103–132.
Podolsky S.A., Kotsyuk D.K., Antonov A.I., Parulov M.P. Assessment of possible threats to vertebrates during hydroelectric construction in the Far Eastern region // Ecosystems: Ecology and Dynamics. 2017, vol. 1, no. 2, pp. 103–132. (In Russ.)
<https://www.so-ups.ru/future-planning/public-disscuan-genshema/2042/>
 6. Селемджинская ГЭС в Амурской области исчезла из Генсхемы размещения энергообъектов // ТЕЛЕПОРТ.РФ. 26 октября 2024. <https://www.teleport2001.ruhttps://www.teleport2001.ru/news/2024-10-26/189807-selemdzhinskaya-ges-v-amurskoj-oblasti-ischezla-iz-genshemy-razmescheniya-energoobektov.html>
 7. *Дарман Ю.А., Колобаев Н.Н.* Влияние Зейского водохранилища на копытных животных // Явления и процессы в природном комплексе Зейского заповедника. М.: Пресфок, 1993. С. 63–85.
Darman Yu.A., Kolobaev N.N. The influence of the Zeya Reservoir on ungulates // Phenomena and processes in the natural complex of the Zeya Reserve. Moscow: Presfok, 1993. Pp. 63–85. (In Russ.)
 8. Красная книга Амурской области. 2 изд., испр., перераб. и доп. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграрного университета, 2020.
Red Book of Amur Region. 2nd ed., corrected, revised and enlarged. Blagoveshchensk: Publishing house of Far Eastern State Agrarian University, 2020. (In Russ.)
 9. *Игнатенко С.Ю., Подольский С.А., Былков А.Ф.* Мониторинг гибели мигрирующих косуль в зоне влияния Бурейского водохранилища и расчёт ущерба близлежащим ООПТ // Материалы VIII дальневосточной конференции по заповедному делу. Т. 1. Благовещенск: БГПУ, 2007. С. 151–159.
Ignatenko S.Yu., Podolsky S.A., Bylkov A.F. Monitoring the mortality of migrating roe deer in the zone of influence of the Bureya Reservoir and calculation of damage to nearby protected areas // Proceedings of the VIII Far Eastern Conference on Nature Reserve Management. Vol. 1. Blagoveshchensk: BSPU, 2007. Pp. 151–159. (In Russ.)
 10. Рекомендации Общественной палаты Российской Федерации по вопросу строительства объектов гидрогенерации в бассейне реки Амур, в том числе на реках Ниман и Селемджа. <https://files.oprf.ru/storage/documents/rekom-stroitelstges-amur.pdf>
Recommendations of the Public Chamber of the Russian Federation on the issue of construction of hydropower generation facilities in the Amur River basin, including on the Niman and Selemdzha rivers. <https://files.oprf.ru/storage/documents/rekom-stroitelstges-amur.pdf> (In Russ.)
 11. *Кузьмина Ж.В., Трёшкин С.Е.* Оценка последствий гидротехнического воздействия на экосистемы пойменных гидроморфных и полуавтоморфных территорий // Вопросы географии. 2012. Сб. 134. Актуальная биогеография. С. 298–313.
Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E. Assessment of the consequences of hydraulic engineering impact on ecosystems of floodplain hydromorphic and semi-automorphic territories // Voprosy geografii. 2012. Sat. 134. Actual biogeography. Pp. 298–313. (In Russ.)
 12. *Малик Л.Г.* Географические прогнозы последствий гидроэнергетического строительства в Сибири и на Дальнем Востоке. М.: ИГ АН СССР, 1990.
Malik L.G. Geographical forecasts of the consequences of hydroelectric construction in Siberia and the Far East. Moscow: Institute of Geology of the USSR Academy of Sciences, 1990. (In Russ.)
 13. *Беликов В.В., Алексюк А.И., Борисова Н.М. и др.* Численное моделирование течений и деформаций дна в бьефах гидроузлов. М.: ЯНУС-К, 2023.
Belikov V.V., Aleksyuk A.I., Borisova N.M. et al. Numerical modeling of flows and bottom deformations in the pools of hydraulic structures. Moscow: YANUS-K, 2023. (In Russ.)
 14. В Амурской области прокуратура занялась ядохимикатами. <https://primamedia.ru/news/51969/>
In the Amur Region, the prosecutor's office has taken up pesticides. <https://primamedia.ru/news/51969/> (In Russ.)
 15. *Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарпанов В.А.* Водохранилища. М.: Мысль, 1987.
Avakyan A.B., Saltankin V.P., Sharapov V.A. Reservoirs. M.: Mysl, 1987. (In Russ.)

16. Асарин А.Е., Данилов-Данильян В.И. Гидроэнергетический потенциал России // Энергетика России: проблемы и перспективы. Труды Научной сессии РАН. М.: Наука, 2006.

Asarin A.E., Danilov-Danilyan V.I. Hydropower potential of Russia // Energy of Russia: problems and prospects. Proceedings of the Scientific session of the Russian Academy of Sciences. Moscow: Nauka, 2006. (In Russ.)

ENVIRONMENTAL, SOCIO-ECONOMIC AND TECHNICAL RISKS OF CONSTRUCTION OF THE NIZHNE-ZEYSKAYA HYDROELECTRIC POWER STATION AND ALTERNATIVE SOLUTIONS

V.I. Danilov-Danilyan^{a,*}, S.A. Podolsky^{a,**}

^a*Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

^{*}*E-mail: vidd38@yandex.ru*

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

The construction of the Nizhne-Zeyskaya hydroelectric power station, the largest of those currently being designed in Russia, is envisaged by the General Scheme for the Placement of Electric Power Facilities until 2042. The article examines the complex of consequences of the construction of this hydroelectric power station and substantiates the conclusion that its construction is inappropriate. The Nizhne-Zeyskoye reservoir will sharply reduce the ecological corridors of the meridional direction that are extremely important for the sustainability of the region's ecosystems, will entail a decrease in biodiversity, and will significantly reduce the effectiveness of at least four specially protected natural areas. In socio-economic terms, one should expect a very significant depletion of hunting resources for the local population, a reduction in the fish stock – the most valuable commercial fish, sensitive losses of agricultural land – arable land, pastures, hayfields, difficulties with navigation, and a decrease in the recreational value of the territory. The protective anti-flood role of the reservoir will not be significant; the interception of the same volume of flood waters in the region can be ensured at much lower costs and in a shorter time. Currently, the Amur Region does not need additional electricity, but if it is needed for the development of the region, then, as shown in the article, the increase in its production can be ensured by alternative methods – both hydroelectric power plants at other sections of the Amur tributaries, and the construction of nuclear power plants and thermal power plants on natural gas, which are safer ecologically and more efficient economically.

Keywords: Zeya River, Nizhne-Zeyskaya HPP, Amur Region, flood protection, reservoir, environmental consequences, ecosystem, specially protected natural area, Red Book species, alternative option.

КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ И ОЧИСТКИ МИРОВОГО ОКЕАНА

© 2025 г. С.Н. Чвалун^{а*}, М.А. Щербина^{а**}, А.В. Быстрова^{а***}, А.М. Музафаров^{а****}

^аИнститут синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия

*E-mail: serge@ispm.ru

**E-mail: max-shcherbina@yandex.ru

***E-mail: bystrova@ispm.ru

****E-mail: aziz@ispm.ru

Поступила в редакцию 20.03.2025 г.

После доработки 20.03.2025 г.

Принята к публикации 10.05.2025 г.

Загрязнение мирового океана пластиком — актуальная проблема международного уровня. По самым скромным оценкам, ежегодно в океан выбрасываются миллионы тонн пластика, а площадь Большого тихоокеанского пятна составляет 1.5 млн км².

К сожалению, сегодня международному сообществу навязываются подходы к решению этой проблемы, не имеющие под собой серьёзного научного обоснования и глубоко противоречивые в своей основе. Суть предлагаемых развитыми государствами мер сводится к фиксации текущего положения вещей, когда небольшой круг стран обладает развитой промышленностью и технологиями (в том числе производством полимерных материалов в широком ассортименте), а развитие остального мира искусственно сдерживается исходя из экологических соображений.

Единственный выход из сложившейся ситуации — разработка системной, суверенной концепции РАН, направленной на решение проблемы полимерного мусора, и её продвижение как на территории нашей страны, так и совместно с заинтересованными странами. Разработанная концепция предполагает решение проблемы полимерного мусора на основе природоподобных методов и технологий, прежде всего наиболее экономичных и безопасных из них. Она является результатом широкого обсуждения в профессиональной среде специалистов в области полимерного материаловедения и экологии.

Ключевые слова: загрязнение пластиком, полимерные отходы, загрязнение Мирового океана, захоронение отходов, мусоросжигательные заводы, механический рециклинг полимеров, химический рециклинг полимеров.

DOI: 10.31857/S0869587325070022, EDN: FHRKBA

Проблема утилизации полимерных отходов в последние десять лет превратилась в одну из самых обсуждаемых. К сожалению, сегодня дискуссии вокруг этой темы перешли в эмоциональную область, когда принимаются поспешные, необдуманные решения, нередко под влиянием массмедиа, которые публикуют снимки умирающих животных, ужасающие картины изуродованных прибрежных территорий

и отвратительных мусорных островов в мировом океане. Одновременно проводится активная кампания по воспитанию у населения полимернофобии.

На этом фоне Программа ООН по окружающей среде (*UNEP – United Nations Environment Programm*) в качестве решения проблемы рассматривает ограничение выпуска полимеров, снижение их популярности и возвращение к “старым проверенным”

ЧВАЛУН Сергей Николаевич — член-корреспондент РАН, руководитель лаборатории функциональных полимерных структур ИСПМ РАН. ЩЕРБИНА Максим Анатольевич — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории функциональных полимерных структур ИСПМ РАН. БЫСТРОВА Александра Валерьевна — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории синтеза элементоорганических полимеров ИСПМ РАН. МУЗАФАРОВ Азиз Мансурович — академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории синтеза элементоорганических полимеров ИСПМ РАН.

средствам упаковки пищевых продуктов, таким как бумага и стекло. В декабре 2024 г. в г. Пусан (Южная Корея) прошёл очередной раунд переговоров по выработке международного обязывающего соглашения, в котором доминирует идеология отказа от выпуска и импорта части конструкционных и упаковочных полимерных материалов, а также добавок к ним. При этом в составе делегаций из разных стран практически нет представителей науки, которые помогли бы осознать, к чему приведут такие решения, оценить их последствия. В составе российской делегации в переговорах участвовал лишь один представитель научного сообщества из Академии наук, однако на последней сессии в Пусане не было и его.

Последнее, наряду с активной пропагандой в средствах массовой информации, особенно симптоматично, поскольку в предыдущие десятилетия мы стали свидетелями нескольких волн таких кампаний и их последствий: борьба с ДДТ, “озоновыми дырами”, истерия вокруг деятельности целлюлозно-бумажных комбинатов в позднем СССР, “углеродный след”, закрытие АЭС, “изменение климата”. Сегодня уже можно говорить о конечных выгодах приобретателях каждой из подобных кампаний.

Принимая столь важные решения, способные повлиять на промышленное развитие целых стран и регионов, на облик нашей планеты в целом, важно уметь, отключая эмоции, применять рациональный, научно обоснованный подход. В случае полимерных отходов это подразумевает максимально честный ответ на несколько вопросов. Необходимо оценить:

- масштаб проблемы, сопоставить её с природными процессами, которые могут повлиять на ситуацию;
- современные подходы к решению проблемы, определить их достоинства и недостатки;
- последствия отказа от полимерных материалов (чем их можно заменить, какова экологическая цена такой замены).

В Академии наук сложился важный инструмент взаимодействия науки и общества – научные советы, в работе которых участвуют ведущие профильные специалисты независимо от места их работы. В случае поставленной нами проблемы речь идёт о Научном совете по высокомолекулярным соединениям при Отделении химии и наук о материалах РАН (ОХНМ РАН), в задачу которого входит анализ состояния исследований в данной области в Российской Федерации и за рубежом, который разрабатывает прогнозы развития фундаментальных исследований по высокомолекулярным соединениям, определяет пути решения задач по профильным проблемам, готовит предложения по формированию новых федеральных целевых программ и включению в существующие программы новых проектов, рассматривает поручения Президиума РАН и Бюро ОХНМ РАН, разрабатывает рекомендации по этим

вопросам для вышестоящих организаций и заинтересованных ведомств.

После выступления автора статьи на заседании совета с докладом по состоянию дел в области полимерных отходов и загрязнения ими мирового океана решением совета была создана комиссия по разработке концепции – научному обоснованию возможных путей решения этой проблемы. В комиссию входят крупнейшие специалисты в области полимерных и композиционных материалов, представители крупных предприятий-производителей полимеров и полимерных изделий. Работу комиссии поддержали эксперты по логистике, международному праву, механике материалов, экономисты и океанологи. На организационном совещании сформирована рабочая группа, представленная авторами статьи.

МАСШТАБ ПРОБЛЕМЫ

К сожалению, вокруг полимерных материалов в обществе сформировалось несколько устойчивых экологических мифов, чрезвычайно далёких от действительности. Один из них касается преобладания полимеров в структуре твёрдых бытовых отходов. В таблице 1 приведены данные о структуре твёрдых отходов промышленности развитых стран.

Как видим, полимеры играют отнюдь не первую роль в отходах. Более того, согласно исследованию [1], доля полимерных материалов в структуре твёрдых бытовых отходов домашних хозяйств в развитых странах колеблется от 6% в хозяйствах с низкими доходами до 13% в хозяйствах с высокими доходами. Зависимость доли полимерных отходов от доходов хозяйств позволяет с уверенностью предположить, что в мире в целом доля полимерных материалов в структуре отходов ещё меньше.

Кроме того, необходимо понять, какова доля синтетических полимеров в общем объёме полимерных материалов (включая природные) на нашей планете. Природные полимеры включают в себя полисахариды (целлюлоза и хитин), белки, полиароматические смолы (лигнин) и другие и являются основой огромного многообразия уникальных композиционных материалов, активно используемых обитателями земли, в том числе людьми. Масштабы планетарного полимерного цикла не имеют аналогов. Пожалуй, единственное сопоставимое по масштабам явление – круговорот воды в природе. При этом вода меняет только своё агрегатное состояние, тогда как полимеры, являясь частью углеродного цикла Земли, претерпевают сложнейшие химические превращения, но каждый раз воспроизводятся в первозданном виде.

Ежегодно на земле образуется около 170 млрд тонн первичной биологической массы и приблизительно тот же объём разрушается [2] за счёт сжигания в лесных и степных пожарах, захоронения, а также

Таблица 1. Структура промышленных твёрдых отходов в развитых странах [1]

По материалам		По индустрии	
Шламы	44.3%	Традиционная энергетика	26.2%
Экскременты животных	20.9%	Сельское хозяйство, лесная промышленность	21.1%
Демонтаж зданий и сооружений	15.3%	Строительство	20.7%
Зола и сажа	4.2%	Производство бумаги	8.7%
Шлаки	3.6%	Производство металлов и металлических изделий	6.7%
Стекло, керамика, бетон	2.2%	Производство керамики и клеев	2.6%
Дерево	2.1%	Химическая промышленность	2.6%
Пластики	2.0%	Пищевая промышленность	2.4%
Металлы	1.8%	Добыча полезных ископаемых	2.0%
Минеральные масла	0.8%	Другое	7.1%
Другие отходы	3.0%		

вторичной переработки и других процессов. Бытует мнение, что природные полимеры легко разлагаются, однако это далеко не так: сваи из лиственницы, на которых стоит Венеция, до сих пор имеют хорошие эксплуатационные характеристики, несмотря на сотни лет присутствия в агрессивной среде, а шелуху от риса, которая не гниёт и которую даже сжигать необходимо в печах особой конструкции, тоже сложно отнести к легко резорбируемым материалам.

Что касается синтетических полимерных материалов, то с 1950-х годов в мире было произведено около 8.3 млрд тонн пластика, три четверти которого (чуть более 6 млрд т) сейчас представлено отходами [3], при этом лишь 9% пластикового мусора перерабатывается, 12% уничтожается, а остальные 79% накапливаются на свалках или в окружающей среде. Общее производство пластика выросло с 2 млн тонн в 1950 г. до более чем 400 млн тонн в начале 2020-х. В настоящее время оборот синтетических полимерных материалов составляет не более 0.25 % оборота природных. Важно отметить, что по большому счёту деление полимерных материалов на природные и синтетические само по себе является искусственным: и те и другие входят в общий (действительно, очень медленный) природный цикл, и синтетические материалы составляют только его малую часть.

Утверждение, что природа гораздо хуже справляется с синтетическими материалами, представляется нам ошибочным. Так, время жизни микрочастиц целлюлозы или чешуек хитина, панцирей моллюсков

чрезвычайно длительное, по своему воздействию на живые организмы они мало отличаются от микрочастиц синтетического полимера. Кроме того, человечество влияет на углеродный цикл планеты, извлекая из её недр и вводя в оборот значительные количества каменного угля (8.3 млрд т), нефти (4.5 млрд т) и газа (4 млрд м³), которые являются хранилищами углерода, природными “углеродными полигонами”. Производство полимерных материалов приводит к связыванию углерода, которое отчасти компенсирует (хоть и очень слабо, на уровне 3%) техногенное увеличение объёмов углеродного цикла.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Среди развитых на сегодня способов избавления от полимерных отходов относительно экологичными считаются сжигание, механическая и химическая вторичная переработка, но это дотационные социальные проекты. Они, с одной стороны, не несут коммерческой выгоды, а с другой — имеют ряд существенных экологических последствий.

Так, представленный в 2021 г. проект компании “РТ-Инвест” предполагал строительство 25 мусоросжигательных заводов общей стоимостью 1.3 трлн руб. (в среднем 52 млрд руб. на завод) [4]. Следует отметить, что, хотя представленный про-

ект был назван в правительстве “платиновым” (имея в виду его дороговизну), названная средняя стоимость мусоросжигательных заводов вполне конкурентоспособна. Так, средняя цена готового мусоросжигательного завода компании Hitachi Zosen INOVA в полной комплектации составляет около 1 млрд евро (100 млрд руб.). Бюджет российских предприятий предполагает выручку в 3.3 трлн руб. за 35 лет (94 млрд руб. в год, или 3.7 млрд на завод), из них около 100 млрд руб. — договоры о предоставлении мощности (срок действия 15 лет), 982 млрд руб. (33%) — затраты на электроэнергию, стоимость которой в условиях общего профицита энергии трудно назвать конкурентоспособной.

Субсидии из федерального и регионального бюджетов на строительство этих заводов должны составить более 320 млрд руб. (прямая бюджетная инвестиция на компенсацию капитальных затрат и субсидия процентной ставки по кредитам ВЭБ). Большая часть господдержки ожидалась на стадии строительства заводов — 295 млрд из 789 млрд руб. (около 40% затрат). Другие предполагаемые источники выручки: плата отходообразователей за утилизацию мусора (1255.9 млрд руб.), экологический сбор (837.7 млрд руб.), конкурентный отбор мощности (79.1 млрд руб.), доходы от продажи шлака (65.2 млрд руб.), то есть в основном предполагается трансфер экономической нагрузки в социальную. Можно заключить, что нынешняя финансовая модель проекта чрезвычайно сложно осуществима.

В качестве дополнительных проблем, связанных со сжиганием полимерных отходов, можно выделить:

- невозможность утилизации высокозольных материалов;
- значительный углеродный след (до 3.1 кг углекислого газа на 1 кг пластика);
- необходимость захоронения золы;
- высокие капитальные и операционные расходы на систему фильтрации, необходимые для купирования вредных газообразных выбросов в атмосферу.

Альтернативные методы утилизации полимерных отходов — механическая и глубокая химическая вторичная переработка. Рециклинг называют первичным, если в нём используют промышленные отходы полимеров (*pre-consumer*), и вторичным, если используют бытовые полимерные отходы (*post-consumer*) [5]. Процессы физического (механического) рециклинга включают дробление, промывку, разделение, сушку, реэкструзию и компаундирование полимеров без изменения их химической структуры. Развитие механической переработки (измельчение полимерных отходов с дальнейшим экструдированием и грануляцией) ограничено в связи с изменением химических и физических свойств переработанного материала по сравнению с их исходным аналогом. В результате доля вторично переработанного сырья в марочных полимерах

обычно не превышает 10–20%. Для механической переработки характерны трудности сертификации марок полимера [6], поэтому вторичный полимер, значительно уступая по соотношению цена—качество, практически всегда неконкурентоспособен.

Другим возможным подходом является очистка полимера при помощи растворителя, в таком случае свойства рециклизованного полимера аналогичны свойствам первичного полимера, но в каждом цикле очистки происходит потеря массы [7]. Кроме того, такое производство само по себе удорожается и становится неэкологичным. Существующие сейчас процессы химического рециклинга включают в себя два подхода: деполимеризацию и конверсию. Деполимеризация представляет собой получение мономеров и/или олигомеров из отходов полимеров. Конверсия представляет собой извлечение углеводов, полученных из отходов полимеров на основе химических и термических процессов: каталитического крекинга, гидрирования, пиролиза, газификации [7].

Экономическая жизнеспособность различных технологий физического и химического рециклинга напрямую связана со стоимостью производства первичных полимеров [8]. Сырьё для первичных полимеров получают из натурального газа, нефти и, в меньшей степени, угля. Таким образом, рост цен на ископаемые ресурсы, в первую очередь нефть, позитивно влияет на экономическую жизнеспособность химического и физического рециклинга полимеров. Стоимость производства базовых первичных полимеров по данным 2019 г. лежит в интервале от 500 (полиэтилен высокой плотности) до 1 800 (поликарбонат) долларов США за тонну. Средняя стоимость вторичного производства методом механического рециклинга составляет до 90% стоимости первичного полимера, и поэтому вторичный полимер, значительно уступая по соотношению цена—качество, практически всегда неконкурентоспособен. Средняя стоимость механического рециклинга достигает 90% от цены первичного полимера, что делает вторичный материал малоконкурентоспособным из-за худшего соотношения цены и качества. Химический рециклинг обходится еще дороже: деполимеризация до мономеров с последующей очисткой и полимеризацией — около 1600 \$/т; конверсия до углеводов с дальнейшей переработкой — до 2200 \$/т. При этом цена рециклизованного полимера составляет в среднем 2100 \$/т [9]. Следует учитывать, что затраты на переработку варьируются в зависимости от региона и типа полимера. Однако в любом случае химический рециклинг в 1.4–1.9 раза дороже производства первичных аналогов [9].

Чтобы конкретная технология рециклинга была экономически жизнеспособна, сумма капитальных затрат (*CAPEX*) и операционных расходов (*OPEX*) не должна превосходить рыночную стоимость продукта. Данные о расходах для отдельных технологий рециклинга приведены в таблице 2.

Таблица 2. Капитальные и операционные расходы для некоторых технологий рециклинга полимерных отходов, 2018–2020 гг. [7,10–13]

Способ рециклинга	Отходы	Мощность, тонн/год	CAPEX, € за тонну	OPEX, € за тонну	CAPEX + OPEX, € за тонну
Растворение	Пенополистирол	11.2	190	489	679
Гликолиз	Полиэтилентерефталат	22.3	94	560	654
Метанолиз	Полиэтилентерефталат	77.0	147	473	620
Пиролиз	Смешанные полимерные отходы	–	–	–	193
Газификация	Смешанные полимерные отходы	122.0	187	31	218

Как видно из таблицы, все существующие технологии рециклинга являются убыточными по сравнению с производством первичного полимера. Гликолиз жизнеспособен только в случае низких цен на сырьё. Другие рассмотренные способы рециклинга требуют государственного финансирования: согласно [8], уровень поддержки до достижения положительных значений чистой прибыли для предприятия-переработчика полимерных отходов в Евросоюзе составляет порядка 63 € за тонну для метанолиза отходов полиэтилентерефталата, 160 € за тонну для пиролиза и 357 € за тонну для газификации отходов.

Таким образом, и сжигание, и те или иные виды рециклинга не позволяют решить проблему полимерных отходов в масштабе планеты, а значит, необходимо искать новые, усовершенствованные способы их утилизации. Как уже было отмечено выше, главным аргументом при выборе магистрального пути в данном случае является тот факт, что цивилизация всё активнее вмешивается в распределение долей природной триады утилизации полимерных материалов (захоронение, вторичное использование, сжигание) путём сжигания значительных объёмов ископаемого топлива. На наш взгляд, выбор в пользу захоронения имеет фундаментальную основу, что противоречит эмоционально окрашенному субъективному подходу, положенному в основу современных предпочтений западной цивилизации. Именно захоронение позволяет минимизировать вмешательство человека в природные процессы. Лимит на сжигание, отпущенный человечеству, быстро исчерпывается, в то время как захоронение — это метод восстановления материального баланса.

ВОЗМОЖЕН ЛИ ОТКАЗ ОТ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ?

Ещё один миф — предположение, что полимеры являются роскошью, от которой очень просто отказаться. Но зададимся вопросом, возможен ли вообще современный мир без полимерных материалов?

Наш главный тезис состоит в том, что в структуре быта человека XXI столетия есть несколько ниш, где полимерные материалы незаменимы: это упаковка, строительные материалы, медицина, одежда, изоляция.

Например, в программе UNEP “Новая экономика пластмасс” [14] участвует 150 крупных компаний, производящих упаковку. Однако только пятая часть, 31 компания, раскрыла данные о ежегодном производстве пластмассовых изделий. Среди них “Indorama Ventures PLC” (6 млн т в год), “Nestlé” (1.7 млн т в год), “Danone S.A.” (0.75 млн т в год), “Tetra Pak” (0.72 млн т в год) [15]. Общий ежегодный объём производства полимерной упаковки оценивается в 60 млн т. Его замена на бумажную потребует производства более 100 млн т бумаги, то есть нужно будет увеличить её производство в мире как минимум на четверть. В то же время на протяжении всего жизненного цикла полимерный пакет обеспечивает как минимум вдвое меньший уровень выбросов парниковых газов по сравнению с его бумажным аналогом. Для его производства требуется в 17 раз меньше воды, в 1.5 раза ископаемого топлива и в 3.4 раза энергии. Только в России использование пластиковых пакетов помогает предотвратить ежегодно вырубку 15 млн деревьев, которые поглощают 14 тыс. т углекислого газа в год [16].

При производстве тарных бутылок только “The Coca-Cola Company” производит 3 млн т полимерных бутылок в год, замена которых потребует производства как минимум 30 млн т тарного стекла [15]. Отметим, что сегодня всё производство тарного стекла в России составляет менее 7 млн т [17], а в мире его производство оценивается в 63 млн т в год. То есть только отказ от полимерных бутылок одной компании должен привести к увеличению энергоёмкого производства тарного стекла в 1.5 раза, общее же увеличение выпуска тарного стекла, по нашим оценкам, должно составить 10–11 раз — заведомо недостижимая и экологически опасная цель. Следует учитывать, что углеродный след ПЭТФ составляет 2.3 кг CO₂ на килограмм полимера, а стек-

ла – 0,6 кг CO₂ на килограмм материала [18]. Однако поскольку стеклянная бутылка примерно в 10 раз тяжелее полимерной, она как минимум в 2,5 раза менее экологична. Важно понимать, что развитие полимерной упаковки, а также более сложных многослойных упаковочных материалов (например, “Tetra Pak”) позволило существенно увеличить срок хранения пищевых продуктов, что сделало их более доступными, а значит, они вносят значительный вклад в решение проблем голода и бедности (цель 3 ООН в области устойчивого развития [19]).

Нельзя не сказать о влиянии полимеров на продукцию текстильной промышленности и производство одежды в целом. Так, в индексе Higg, разработанном международным объединением участников швейной промышленности “Sustainable Apparel Coalition” [20], шёлк занимает второе после натуральной кожи место по негативному воздействию на окружающую среду. Согласно этому рейтингу, его влияние значительно превосходит влияние вискозы почти по всем параметрам, включая глобальное потепление, истощение природных запасов, загрязнение водоёмов. Хлопковое волокно получают из хлопчатника. Это растение, которому нужно очень много воды. 69% так называемого водного следа в производстве текстиля составляет именно выращивание хлопчатника. Другая проблема хлопководства – гигантские объёмы химикатов для борьбы с вредителями и болезнями. На отрасль приходится 16% всех используемых в мире пестицидов. Однако первое место по негативному влиянию на окружающую среду занимает натуральная кожа. Её производство включает не только чрезвычайно высокую экологическую нагрузку животноводства, но и крайне токсичный этап дубления, в котором используются хром, свинец и мышьяк.

Важно понимать, что удовлетворить потребности растущего населения Земли исключительно за счёт природных ресурсов невозможно. Это привело бы к колоссальному увеличению потребления древесины, кожи, хлопка, льна и шёлка, производство которых требует значительных площадей и ресурсов, а также является экологически грязным. Точные расчёты объёмов текстильного производства требуют отдельного исследования, но уже очевидно: отказ от синтетических аналогов повлёл бы за собой кратное – и практически неосуществимое – наращивание выпуска натуральных материалов.

Отдельно отметим проблему производства обуви. До середины XIX в. всю обувь производили из кожи (для высших и средних слоёв населения) или дерева (для бедных). Сегодня население Земли стало как минимум в 8 раз больше, и каждый не довольствуется одной-двумя парами обуви, как раньше. Более того, замена широкого ассортимента современной продукции кож (например, при производстве кроссовок, резиновых тапочек и пр.) представляется просто невозможной.

В современном строительстве полимерные материалы являются незаменимым сырьём для производства тепло- и электроизоляции, труб и т.д. Полимерные трубы в 5–10 раз более лёгкие, чем их металлические аналоги, химически стойкие, гораздо более гигиеничные и простые для замены. Обратный переход на металлы не только не решит экологические проблемы, но наоборот – существенно их усугубит, поскольку производство металлов гораздо менее экологично, требует больше энергии, а также ставит перед человечеством и без того достаточно острую проблему быстрого истощения запасов металлических руд.

Особого внимания заслуживает использование полимерных изделий в медицине. Полимерные шприцы, наверное, можно заменить стеклом, вернувшись к середине XX в., однако это потребует и соответствующего отката в регламентах безопасности – ведь использование одноразовых шприцев позволило значительно повысить безопасность пациентов. Стенты и медицинские трубки, мочеприёмники, суставные протезы и эндопротезы для герниопластики, материалы для стернотомии позволяют продлить жизнь большого количества пациентов и улучшать качество жизни ещё большего их числа.

Итак, никакой реальной альтернативы синтетическим полимерным материалам без значительного, в разы, снижения уровня жизни населения нет, более того, производство полимеров необходимо увеличивать. Оптимизация уровней производства и потребления в сегодняшнем мире, несомненно, требует существенного вклада полимерной продукции.

НАЦИОНАЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ И ОЧИСТКИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Полученные выводы привели нас к пониманию необходимости создания независимой национальной концепции утилизации полимерных отходов – научно обоснованного документа, в котором не копировались бы нарративы и видение других стран, а творчески развивались бы новые подходы, которые, с одной стороны, позволили бы предотвратить загрязнение нашей планеты, с другой – не ограничивали бы развитие человечества под предлогом узко понимаемой зелёной повестки.

Концепция имеет двухуровневую структуру. Её фасад – это десятистраничный документ, включающий семь разделов, лёгкий для понимания; в нём тезисно изложены основные вопросы. Дополнительно к каждому разделу подготовлена аргументационная часть, которая содержит основные расчёты и статистические данные. Перечислим семь разделов Концепции.

1. Актуальность проблемы, развёрнуто изложенная в настоящей статье.

2. Критика существующих подходов, навязываемых мировому сообществу.

3. Природная триада утилизации полимерных материалов.

4. В чём заключается природоподобие? Показано, что захоронение в океане – оптимальный вариант утилизации полимерных отходов. Минимальная предварительная обработка (сбор, автоматическая сортировка от ценных примесей – металлы, стекло), компактизация, упаковка, захоронение в океане на заранее выбранных площадках для строительства искусственных полимерных островов – вот основные этапы процесса. В результате происходит восполнение баланса по углероду, нарушенного цивилизацией при сжигании всё возрастающих объёмов ископаемого топлива. Такая версия захоронения полимерных отходов – наиболее эффективный вариант поддержания углеродного баланса на планете, причём полимеры становятся самым действенным инструментом в этом глобальном процессе. Основная аргументация включает в себя следующие пункты:

- площадь морского дна больше площади суши; средняя глубина мирового океана позволяет создать компактные хранилища, не превышающие по своим размерам малых долей процента общей поверхности, в концепции приведены конкретные цифры – сравнение, каких котлованов потребовало бы захоронение на суше;

- основные факторы и результаты воздействия на полимерные отходы на поверхности океана (механическое воздействие – трение под действием колебаний поверхности воды, образование микропластика, окисление кислородом воздуха, фотодеструкция) в глубине уменьшаются в разы или на порядки;

- температура океанских глубин составляет 3°C в отличие от средней температуры поверхности мусорных островов 30°C; поскольку, по законам химической кинетики, уменьшение температуры экспоненциально замедляет скорость реакций, деструкция полимерных материалов замедляется как минимум в 10 раз;

- отсутствие механического воздействия, перемешивания и обновления поверхности, а также механохимической активации замедляет скорость гетерогенных процессов в десятки раз;

- концентрация кислорода на поверхности (то есть кислорода в воздухе) и в толще океанской воды отличается на несколько порядков, поэтому реакции окисления, столь важные на поверхности воды, становятся пренебрежимо малым фактором на дне океана;

- на дне отсутствует УФ-радиация, поэтому скорость радикальных процессов деструкции падает до нуля.

Полимерные материалы, которые предполагается захоранивать на дне океана, сегодня уже нахо-

дятся в океане. Поэтому предлагаемая концепция не противоречит Лондонской конвенции по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов 1972 г. и протоколу к ней 1996 г. Речь идёт о минимизации факторов, приводящих к нежелательным реакциям в полимерном мусоре. В Концепции имеет место не слепое копирование природных процессов, а научно обоснованный выбор правильных соотношений в природной триаде утилизации полимеров, с тем чтобы не усугублять негативное воздействие цивилизации на природу, а минимизировать его. Активное захоронение (захоронение, совмещённое со вторичным использованием) направлено на минимизацию сжигания природных и синтетических полимеров и тем самым на снижение давления на окружающую среду. Таким образом, один вид цивилизационного воздействия на окружающую среду снижает негативные эффекты от другого вида цивилизационного воздействия.

5. В качестве пилотного проекта решения острой проблемы загрязнения океана предложена программа “Полимерные острова”, которая обеспечит очистку океана и организацию цивилизованного, безопасного и экономически эффективного захоронения полимерных отходов на площади менее тысячной доли площади мирового океана (площадь мирового океана составляет 361 млн км² – площадь большого тихоокеанского мусорного острова от 700 тыс. до 1.5 млн км², а площадь полимерных островов, аккумулирующих все накопленные пластиковые отходы, не превысит 100 км²). Перемещение полимерных отходов с поверхности океана на океанское дно коренным образом изменит сохранность полимерных материалов за счёт ликвидации основных факторов деструкции и исключит последующее диспергирование опасных соединений по поверхности и в толще океанских глубин.

Описанная нами проблема имеет выраженный междисциплинарный характер, поэтому при подготовке программы к её разработке, помимо научных советов по высокомолекулярным соединениям и по глобальным экологическим проблемам, необходимо привлечь специалистов в области механики, авиационной, океанологии, морской логистики, представителей крупнейших полимерных компаний страны.

6. Международные аспекты. Совершенно очевидно, что после подготовки абрисного проекта программы к её дальнейшей разработке необходимо привлечь международное сообщество: мусорные острова расположены главным образом в международных водах. Понадобятся международные соглашения по статусу новых территорий, условий реализации и функционирования проекта. Наиболее перспективным представляется международное управление под эгидой БРИКС. Глобальный объединяющий характер проекта, его успешная реализация приведут к зримому улучшению “экологи-

ческого климата” на планете, повысят авторитет и популярность БРИКС, станут успешным примером позитивного и результативного международного сотрудничества. Программа проекта может быть подготовлена и согласована к очередному председательству РФ в БРИКС ориентировочно в 2029 г.

7. Использование Концепции. Концепция носит рекомендательный характер и после утверждения Президиумом РАН может быть использована в качестве основы для выработки государственной политики в области переработки полимерных отходов, пропаганды бережного отношения к полимерам, полимерным отходам как к одному из важнейших инструментов решения многих острых проблем существования человеческого сообщества.

Концепция переработки полимерных отходов и очистки Мирового океана была всесторонне обсуждена на Научном совете по высокомолекулярным соединениям Отделения химии и наук о материалах РАН и получила его официальное одобрение, после этого она была утверждена на заседании бюро ОХНМ РАН и рекомендована для представления Президиуму РАН. Концепция прошла апробацию на ряде крупных профильных конференций, включая XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии в 2024 г. Следует отметить, что создание концепции – важный пример модус операнди Академии наук, когда общественно значимая проблема сначала получает внимание специалистов, которые в рамках профильной структуры создают работающий инструмент её решения, а затем обсуждается на всё более высоких уровнях. Организационные аспекты очень важны для активизации работы научных советов РАН на инициативной основе, в отсутствие директивных указаний сверху.

* * *

Сегодня проблема полимерных отходов приобрела глобальное измерение. Подготовленный в рамках UNEP проект международного соглашения не будет содействовать её решению, более того, значительно усугубит экологическую ситуацию в мире, приведёт к существенному снижению уровня жизни, в первую очередь в развивающихся странах, в которых отсутствует индустриальная полимерная инфраструктура. Причина такого положения вещей – игнорирование научной экспертизы при подготовке соглашения. Российская Федерация должна в срочном порядке приостановить переговоры в рамках UNEP до выработки национальной стратегии развития полимерной промышленности, включая концепцию переработки полимерных отходов. Разработанная рабочей группой на базе Совета по высокомолекулярным соединениям ОХНМ РАН концепция представляет собой пример такого документа. Не отрицая другие принятые к сегодняшнему дню подходы к переработке полимерных отходов, она предлагает совершенно новые,

гораздо более эффективные решения, которые будут способствовать значительному улучшению экологической ситуации на планете.

ЛИТЕРАТУРА

1. An introduction to plastic recycling // Plastic Waste Management Institute, 2022.
2. Общая биология: Учебное пособие для 11-го класса. § 45. Биосфера и её структура. М.: Просвещение, 2022.
General Biology: Textbook for the 11th grade. § 45. The biosphere and its structure. Moscow: Education, 2022. (In Russ.)
3. Geyer R., Jambeck J.R., Lavender K. Production, use, and fate of all plastics ever made // Science Advances. 2017, vol. 3, no. 7, e1700782. DOI: 10.1126/sciadv.1700782
4. <https://www.rbc.ru/business/26/03/2021/605c50f79a794729fde26282>
5. Kishanov K. et al. Recent Developments and Perspectives of Recycled Poly(ethylene terephthalate)-Based Membranes: a Review // Membranes. 2022, vol. 12, no. 12 (11), p. 1105. <https://doi.org/10.3390/membranes12111105>
6. Ла Мантия Ф. Вторичная переработка пластмасс. СПб.: Профессия, 2006.
La Mantia F. Recycling of plastics. St. Petersburg: Profession, 2006.
7. Werner M. et al. Closing the Plastics Circularity Gap Full Report. 2022. Google/AFARA Report
8. Garcia-Gutierrez P., Amadei A.M., Klenert D. et al. Environmental and economic assessment of plastic waste recycling A comparison of mechanical, physical, chemical recycling and energy recovery of plastic waste, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023. DOI: 10.2760/0472, JRC132067.
9. IHS Markit. The IHS Markit View of the Energy Future for Rivalry, Autonomy, and Discord (2020–2050). 2020.
10. Carducci N., Hoglund A., Lube M., Murdock D. Mixed Plastic Recycling Plant. 2020.
11. Faraca G., Martinez-Sanchez V., Astrup T.F. (2019). Environmental life cycle cost assessment: Recycling of hard plastic waste collected at Danish recycling centres // Resources, Conservation and Recycling. 2019, no. 143, pp. 299–309.
12. Chemical Recycling of Plastic Packaging Materials – Analysis and opportunities for upscaling. Netherlands Institute for Sustainable Packaging (KIDV), 2018.
13. Stapf D., Wexler M., Seifert H. Thermal Processes for Feedstock Recycling of Plastics Waste // Report to BKV and PlasticsEurope. 2018, november, pp. 1–68.
14. <https://www.unep.org/ru/globalnaya-obyazatelstvovaya-ekonomika-plastmass>

15. <https://emf.thirdlight.com/file/24/K6L0nIrK6TiV5CaK63uPKX6taWr/The%20Global%20Commitment%202023%20Progress%20Report.pdf>
16. Российский экологический оператор. <https://green.reo.ru/howto/tpost/bmsccy5dr1-modnii-bumazhnii-ili-grustnii-plastikovi>
Russian environmental operator. <https://green.reo.ru/howto/tpost/bmsccy5dr1-modnii-bumazhnii-ili-grustnii-plastikovi> (In Russ.)
17. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 5-2022 “Производство стекла” (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2022 г. № 3159). <https://base.garant.ru/406092259/1cafb24d049dcd1e7707a22d98e9858f/>
18. <https://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>
19. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/>
20. <https://cascale.org/>

CONCEPT FOR SOLVING THE PROBLEM OF POLYMER WASTE AND CLEANING THE WORLD OCEAN

S.N. Chvalun^{a,*}, M.A. Shcherbina^{a,}, A.V. Bystrova^{a,***}, A.M. Muzafarov^{a,****}**

^aEnikolopov Institute of Synthetic Polymer Materials, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: serge@ispm.ru*

***E-mail: max-shcherbina@yandex.ru*

****E-mail: bystrova@ispm.ru*

*****E-mail: aziz@ispm.ru*

Plastic pollution of the World ocean is a pressing problem of the international level. According to the most conservative estimates, millions of tons of plastic are dumped into the ocean every year, and the area of the Great Pacific Patch is 1.5 million square kilometers.

Unfortunately, today the international community is being forced to adopt approaches to solving this problem that have no serious scientific basis and are deeply contradictory in their basis. The essence of the measures proposed by developed countries is to fix the current state of affairs, in which a small circle of countries has developed industry and technology (including the production of a wide range of polymeric materials), while for the rest of the world such development is artificially restrained for environmental reasons.

The only way out of this situation was the development of a systemic, sovereign concept of the Russian Academy of Sciences aimed at solving the problem of polymer waste, and its further promotion both on the territory of our country and jointly with interested countries. The developed Concept assumes solving the problem of polymer waste using nature-like methods and technologies, choosing the most economical and safe of them. It is the result of a broad discussion in the professional community of specialists in the field of polymer materials science and ecology.

Keywords: plastic pollution, polymer waste, ocean pollution, waste disposal, waste incineration plants, mechanical recycling of polymers, chemical recycling of polymers.

СВЯЗЬ НАУКИ И ПРАКТИКИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЛЕДСТВЕННОГО КОМИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2025 г. А.В. Фёдоров^{a,b,*}

^aСледственный комитет Российской Федерации, Москва, Россия

^bИнститут законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

*E-mail: 1956af@mail.ru

Поступила в редакцию 05.04.2025 г.

После доработки 05.04.2025 г.

Принята к публикации 23.04.2025 г.

Статья посвящена актуальной теме – взаимосвязи науки и практики в следственной деятельности. Отмечается, что в современных условиях эффективность государственных органов в противодействии преступности во многом зависит от использования достижений науки, которые учитывают накопленный опыт и реальную обстановку. На конкретных примерах показано, что связь науки и практики прослеживается по всем направлениям деятельности Следственного комитета РФ. Изменение характера преступлений и способов их совершения обуславливают необходимость разработки новых научно обоснованных методик и технологий сбора, проверки, оценки и исследования доказательств, на основе которых устанавливаются обстоятельства преступных деяний. Автор акцентирует внимание на фундаментальных научных исследованиях, проводимых с участием Российской академии наук, и опыте сотрудничества с её научными институтами.

Статья основана на материалах доклада, с которым автор выступил на заседании Президиума РАН 18 марта 2025 г.

Ключевые слова: Следственный комитет Российской Федерации, связь науки и практики, институты Российской академии наук, использование результатов научных исследований в деятельности органов следствия.

DOI: 10.31857/S0869587325070035, EDN: FHR0DZ

В современных условиях эффективность деятельности государственных органов по противодействию преступности во многом зависит от использования ими достижений науки, их вовлечённости в научные исследования и разработки. Не является исключением в этом смысле и работа Следственного комитета Российской Федерации (далее по тексту – Следственный комитет).



ФЁДОРОВ Александр Вячеславович – кандидат юридических наук, профессор, заместитель председателя СК РФ, ведущий научный сотрудник центра уголовного и уголовно-процессуального законодательства ИЗИСП.

Связь науки и практики можно проследить по всем направлениям деятельности Следственного комитета, например, в том что касается разработки законодательных предложений, направленных на совершенствование правовой базы борьбы с преступностью. Ведутся правовые научные исследования, связанные с изучением имеющей место в большинстве стран мира уголовной ответственности юридических лиц; это позволит определить целесообразность использования зарубежной законодательной и правоприменительной практики и возможные варианты установления такой ответственности в Российской Федерации [1, 2]. С участием специалистов Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации [3, 4] и Института государства и права Российской академии наук рассматриваются доводы “за” и “против” такой ответственности. Разрабатывается теоретическая концепция уголовной ответственности юридических лиц в нашей стране [5, 6]. Анализируется и опыт Республики Беларусь, уголовное и уголовно-

процессуальное законодательство которой предусматривает возможность посмертного осуждения за не имеющие сроков давности преступления против мира и безопасности [7]. Научные исследования обусловили подготовку ряда законодательных предложений [8, 9]. Так, по инициативе Следственного комитета принят закон, предусматривающий уголовную ответственность за создание и руководство деятельностью финансовых пирамид (Федеральный закон от 30 марта 2016 г. № 78-ФЗ), что имеет принципиально важное значение для обеспечения финансовой безопасности государства; установлены дополнительные механизмы противодействия деятельности, направленной на побуждение детей к суицидальному поведению (Федеральный закон от 7 июня 2017 г. № 120-ФЗ); подготовлен законопроект о введении института мер уголовно-правового воздействия в отношении юридических лиц.

Используются и результаты научных исследований в области исторических наук. Благодаря историческим изысканиям удалось не только подготовить труды по истории органов следствия, но и установить первый самостоятельный следственный орган в истории России – созданную в 1713 г. следственную канцелярию Петра I во главе с М.И. Волконским [10, 11], дата образования которой – 25 июля – теперь определена как профессиональный праздник – День следственных работников Российской Федерации¹.

Можно привести примеры взаимодействия с наукой и по другим направлениям, главное из которых для Следственного комитета – расследование особо опасных преступлений²:

- должностных злоупотреблений и коррупции³; в том числе в оборонно-промышленном комплексе⁴ и в сфере реализации национальных проектов⁵;

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 27 августа 2013 г. № 741 “О Дне сотрудника органов следствия Российской Федерации” // Собрание законодательства Российской Федерации. 2013. № 35. Ст. 4526.

² В 2024 г. в производстве следователей Следственного комитета находилось свыше 329 тыс. уголовных дел. Здесь и далее статистические данные приводятся по изданию: Материалы к заседанию коллегии Следственного комитета Российской Федерации “Об итогах работы следственных органов Следственного комитета Российской Федерации за 2024 год и задачах на 2025 год”. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2025.

³ В 2024 г. следователями Следственного комитета возбуждено более 26 тыс. уголовных дел о преступлениях коррупционной направленности.

⁴ В 2024 г. следователями Следственного комитета возбуждено 405 уголовных дел о преступлениях, совершённых в сфере оборонно-промышленного комплекса, из них по оконченным производством делам сумма установленного ущерба составила 3 млрд 152 млн рублей.

⁵ В 2024 г. следователями Следственного комитета возбуждено 1761 уголовное дело о преступлениях, совершённых в сфере реализации национальных проектов, ущерб от которых составил 9 млрд 127 млн рублей.

- экономических преступлений⁶;
- терроризма и экстремизма⁷.

Нет ни одной отрасли науки, достижения которой не применялись бы в следственной деятельности. Недавно опубликована работа председателя Следственного комитета Российской Федерации А.И. Бастрыкина “Преступление века” – уникальное исследование, в котором приведены материалы дела о расследовании гибели последнего российского императора Николая II и членов его семьи. По данному делу применены результаты практически всех научных дисциплин [12].

Достижения различных отраслей науки используются также при подготовке учебников и учебных пособий для академий Следственного комитета [13, 14].

Меняющийся характер преступлений и изменение способов их совершения обуславливают необходимость разработки новых научно обоснованных методик и технологий сбора, проверки, оценки и исследования доказательств, на основе которых устанавливаются обстоятельства преступных деяний. Значительная часть новых методик и технологий разрабатывается и совершенствуется в Главном управлении криминалистики (Криминалистическом центре) и Судебно-экспертном центре, в ведомственных академиях Следственного комитета в тесном сотрудничестве с ведущими вузами и институтами Российской академии наук (далее по тексту – РАН). Благодаря такому сотрудничеству Следственный комитет внедряет цифровые технологии, включая искусственный интеллект и анализ больших объёмов данных, разрабатывает новейшие методики расследования преступлений.

В повседневной работе активно применяется высокотехнологичное оборудование, в том числе беспилотные летательные аппараты для фото- и видеосъёмки больших территорий и поиска пропавших без вести людей, комплексы оборудования для поисковых работ в воде и под землёй, портативные спектрометры для идентификации различных видов веществ. Криминалисты ведомства успешно осуществляют поисковые мероприятия с использованием гидролокаторов, металлодетекторов, георадаров, другой криминалистической и специальной техники.

Для процессуальной фиксации военных преступлений украинских националистов, в том числе с применением ими западной военной техники, новые регионы в составе Российской Федерации оснащают самым современным криминалистиче-

⁶ В 2024 г. следователями Следственного комитета возбуждено 42659 уголовных дел об экономических преступлениях, по которым установлен ущерб в сумме 199 млрд 521 млн рублей.

⁷ В 2024 г. зарегистрировано 3714 преступлений террористического характера и 1719 преступлений экстремистской направленности.

ским оборудованием и методиками его применения. В частности, на вооружение криминалистов поступили комплексы беспилотных летательных аппаратов вертолётного типа, спутниковые навигаторы, оптические лазерные дальномеры, эндоскопы, комплекты полиграфа с традиционным набором регистрируемых показателей и другая техника.

Эффективность большинства методик и технологий расследования преступлений проверяется и проходит апробацию на практике. Вместе с тем они нуждаются в постоянной корректировке и совершенствовании с учётом современных достижений науки и техники. С этой целью в структуре Главного управления криминалистики в 2018 г. создан Научно-исследовательский институт (НИИ) криминалистики. Институт проводит исследования и разработки практико-ориентированного характера по актуальным вопросам криминалистического и экспертного сопровождения расследования преступлений. Эта деятельность осуществляется на основе изучения различных категорий уголовных дел, анализа следственной практики, обобщения опыта раскрытия и расследования преступлений. Достаточно сказать, что с момента образования НИИ криминалистики проведены исследования по 62 актуальным темам криминалистического и экспертного сопровождения расследования преступлений, подготовлено более 60 научно-методических материалов по различным вопросам, возникающим в следственной практике. Только в 2023–2024 гг. НИИ криминалистики проведены исследования по таким проблемам, как: особенности расследования преступлений, совершённых организованными группами и преступными сообществами (преступными организациями); производство следственных действий путём использования систем видеоконференц-связи; анализ практики расследования уголовных дел о насилии (угрозе насилия) в семейных или в иных личных отношениях; анализ практики расследования преступлений в сфере защиты жилищных прав детей-сирот и др.

В рамках Следственного комитета действует Научно-технический совет, который определяет приоритетные направления инновационной деятельности в области технико-криминалистического и экспертного обеспечения расследования преступлений. Им рассмотрены и внедрены в практику 27 методических рекомендаций и четыре типовые методики расследования преступлений, а также 14 программных и технических комплексов для использования в криминалистических и экспертных целях [15–17].

Приведу конкретный пример. Научно-техническим советом внедрена разработанная НИИ криминалистики и Московской академией Следственного комитета на основе обобщения и анализа следственной практики программа, которая позволяет создать портрет серийного преступника, действующего из

сексуальных побуждений. С её помощью можно определить наиболее вероятный возраст серийного преступника, наличие у него психического заболевания и судимости, факт совершения преступления с использованием автотранспортного средства, наличие связи между преступником и потерпевшим до совершения преступного деяния, семейный статус преступника, то есть те признаки, по которым принимаются меры по его задержанию и изоляции от общества.

В настоящее время одно из перспективных направлений научных исследований – опознание человека по походке. Для этого разработан комплекс признаков, характеризующих походку, апробированы результаты и подготовлена методика исследования походки человека, которая была рассмотрена и одобрена на заседании Научно-технического совета Следственного комитета. Кроме того, реализованы специальные возможности для изучения фото- и видеоизображений, работы с электронными носителями информации, получения данных дистанционного зондирования Земли из космоса. За последние годы при расследовании преступлений использовано свыше девяти с половиной тысяч маршрутов высокодетальной космической съёмки с аппаратов российской орбитальной группировки, покрывающей почти 3 млн км² территории России и иностранных государств.

Доказательственные свойства снимков состоят в том, что они позволяют получать объективные данные о состоянии участка местности на определённые дату и время. Опровергнуть и подвергнуть сомнению данные, полученные с космических аппаратов, практически невозможно [18]. Например, по уголовному делу, расследуемому Главным следственным управлением СК России, возбуждённому по факту совершения 6 июня 2023 г. террористического акта путём подрыва Каховской гидроэлектростанции им. П.С. Непорожного вблизи г. Новая Каховка Херсонской области России, организовано проведение технического судебного исследования на основе данных дистанционного зондирования Земли. Эти данные позволили получить объективные сведения о последствиях разрушения сооружений на реке Днепр и расположенных вблизи населённых пунктов, осушение Каховского водохранилища и изменение водного режима Северо-Крымского канала. Исследованы снимки, покрывающие свыше 240 000 км² пострадавшей в результате теракта территории. Кроме того, впервые в криминалистической практике использованы фотографии места происшествия, сделанные космонавтами с борта международной космической станции.

Подобные снимки использовались при расследовании ряда других резонансных преступлений. Например, в Республике Саха (Якутия) по уголовному делу о незаконной добыче драгоценных метал-

лов (золото, серебро) в крупном размере на общую сумму свыше 140 млн рублей космические снимки способствовали ретроспективному воссозданию горно-эксплуатационных работ на месторождении россыпного золота. Материалы космической съёмки результативно использовались при расследовании уголовных дел по фактам массовых пожаров на территории Курганской области, обвала горных пород и гибели людей при производстве работ в горной выработке подземного рудника золоторудной зоны в Амурской области, разлива нефтепродуктов в Ненецком автономном округе [19].

Важно отметить, что всё чаще для оперативного выдвигания обоснованных криминалистических версий и их проверки следственным путём, установления обстоятельств, подлежащих доказыванию, имеют существенное значение своевременное обнаружение, изъятие и исследование мобильных и стационарных устройств, преодоление их парольной защиты, получение доступа к аккаунтам в социальных сетях и мессенджерах, а также к облачным хранилищам данных. Ведь только в 2024 г. зарегистрировано 765 365 преступлений с использованием ИТ-технологий, что на 13% больше, чем в 2023 г. Значительное их число совершено в теневом сегменте сети Интернет (Даркнет) с использованием программных средств. Почти в 4 раза выросло количество преступлений, совершаемых с использованием методов социальной инженерии, в 5 раз — число фактов неправомерного списания денежных средств с банковских счетов, вдвое — число преступлений с цифровой валютой. Такие преступления являются одними из самых массовых.

С учётом изложенного в Следственном комитете разработан проект федерального закона, предусматривающий дополнение статьи 63 Уголовного кодекса Российской Федерации новым отягчающим наказанием обстоятельством — «совершение преступления с использованием информационно-коммуникационных технологий».

Реализуя меры противодействия ИТ-преступлениям специалисты Следственного комитета активно применяют современные технологии выявления и фиксации цифровых следов, оставляемых преступниками. Например, с помощью анализа открытых источников сети Интернет, в том числе технологии блокчейн (система хранения и передачи информации, при которой данные шифруются и объединяются в блоки), по уголовному делу о террористическом акте в концертном зале «Крокус Сити Холл» установлен криптокошелёк, с которого через посредников финансировалась деятельность исполнителей теракта. В результате исследования транзакций по пополнению указанного криптокошелька установлены граждане Турции, от имени которых были пополнены электронные счета криптовалютой суммарно на 18 млн рублей. Часть из этих средств была перечислена непосредственно исполнителю преступления. Напавшие на киноконцерт-

ный зал с целью скрыть следы иностранного участия в финансировании и координации своих действий сломали используемые ими мобильные устройства, значительно повредив их конструкцию. Несмотря на это, наши криминалисты смогли восстановить работоспособность устройств, из которых извлечена сохранённая в них информация, что позволило изобличить виновных.

С 2024 г. в Следственном комитете проходит апробацию аппаратно-программный комплекс «Детектив», предназначенный для записи и транскрибирования диалогов (преобразование голосовой информации в текстовую), а также для выполнения автоматического анализа динамики психоэмоционального состояния собеседника в режиме реального времени или по аудиозаписи.

Специальная военная операция обусловила необходимость новых исследований. Подготовлено практическое пособие «Особенности расследования преступлений, связанных с применением запрещённых средств и методов ведения войны, в том числе в условиях проведения специальной военной операции по защите ЛНР и ДНР» [20]. Разработаны памятки для следователей и криминалистов по вопросам тактики производства допросов, осмотра места происшествия, безопасности участников следственных действий в зоне вооружённого конфликта, при расследовании террористических актов [21–23].

Масштабные разрушения объектов гражданской инфраструктуры в зоне СВО в результате обстрелов украинскими вооружёнными силами обусловили необходимость изменения тактики производства осмотра места происшествия. В этих целях разработаны «Методические рекомендации по производству осмотра места происшествия на значительной территории с многочисленными объектами в условиях СВО». Основываясь в том числе и на этих разработках, проводится работа по судебному-экспертному установлению размера и характера причинённого ущерба в результате преступных действий киевского режима на Донбассе. Только в 2024 г. эксперты судебного-экономического и строительно-технического направлений Судебно-экспертного центра СК России выполнили свыше тысячи комплексных строительно-технических оценочных экспертиз с исследованием почти 26 000 объектов.

Следует отметить, что криминалистическая техника и экспертные возможности ведомства активно используются при осмотрах мест происшествий в ходе расследования уголовного дела о геноциде народов Советского Союза, совершённого немецко-фашистскими захватчиками и их пособниками во время Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. В рамках этого дела уже проведено свыше 160 осмотров мест происшествий, эксгумированы костные останки более 2 000 лиц, из них не менее 240 — дети. По всем извлечённым останкам назначены ком-

плексные судебно-медицинские экспертизы, из которых значительная часть уже завершена. Кроме того, с целью установления ДНК-профилей обнаруженных костных останков выполнены 20 судебно-биологических экспертиз. Эта работа важна для установления способов массовых убийств советских людей (в большинстве своём женщин, стариков, детей и военнопленных), чтобы ещё раз напомнить миру об истинных целях нацистской Германии и её сателлитов – геноциде советского народа. Такая работа осуществляется на территории всех российских регионов, которые были оккупированы немецко-фашистскими войсками и их союзниками в период Великой Отечественной войны.

К примеру, в ходе обследования мест захоронений жертв карательной деятельности немецко-фашистских захватчиков на территории Херсонской области на окраине г. Геническа удалось установить место расположения противотанкового рва, в котором было расстреляно свыше 700 человек. В ходе осмотров с использованием криминалистической техники (магнитометрический градиентометр, георадар, средства металлопоиска) локализована граница рва, в котором на глубине 3 метров обнаружены костные останки 40 человек. Работы с использованием криминалистической техники по обнаружению и извлечению костных останков советских граждан продолжаются.

Следственный комитет крайне заинтересован в проведении фундаментальных научных исследований с участием Академии наук. Накопленный опыт сотрудничества с РАН показывает, что наиболее продуктивными формами взаимодействия в настоящее время являются: проведение исследований с использованием методологических и технических возможностей РАН; разработка методических рекомендаций, методик проведения новых видов криминалистических исследований; участие представителей РАН в обучении сотрудников Следственного комитета; обмен знаниями в рамках научно-практических семинаров, конференций, круглых столов.

В ходе реализации заключённого между Следственным комитетом и РАН Соглашения о сотрудничестве совместно прорабатываются вопросы:

- разработки компьютерных технологий выявления и противодействия вовлечению несовершеннолетних в деструктивные группы;
- использования интеллектуальной обработки интегрированных данных дистанционного зондирования Земли для обнаружения и идентификации объектов местности с использованием экспертных систем;
- разработки комплексного подхода к анализу поведения человека с целью определения достоверности сообщаемых им сведений при проведении следственных и иных процессуальных действий.

Если говорить о конкретных шагах, то сотрудники Следственного комитета с 2017 г. совместно со специалистами Некоммерческого партнёрства лаборатории анализа микрочастиц Института теоретической и экспериментальной физики НИЦ “Курчатовский институт” при поддержке МИД России и российского представительства при МАГАТЭ участвуют в международных мероприятиях по ядерной криминалистике. На приборной базе лабораторий анализа микрочастиц проведены две комплексные совместные экспертизы по следам выстрела из огнестрельного оружия. Результаты совместной научно-исследовательской работы по исследованию следов конденсированных продуктов выстрела учтены при подготовке научной работы “Методы поиска, изъятия и исследования следов конденсированных продуктов выстрела”, а также изложены на международной конференции по ядерной криминалистике в Белграде (Сербия) в 2024 г.

С 2020 г. активно осуществляется взаимодействие со специалистами Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН (далее – ФНЦ). Так, с их участием и с использованием оборудования ФНЦ проведено около 30 экспертных исследований по уголовным делам, возбуждённым по фактам мошенничества при поставке питания в силовые структуры. Совместно с ФНЦ разработана типовая методика криминалистического исследования продуктов питания, которая рекомендована к использованию Научно-техническим советом Следственного комитета [24].

Совместно с институтом археологии РАН подготовлены методические рекомендации по работе на месте поиска и обнаружения захоронений человеческих останков. В них рассмотрены вопросы проведения осмотра мест происшествия при расследовании уголовных дел, возбуждённых по фактам обнаружения неопознанных, скелетированных, сожжённых и расчленённых трупов. Определены особенности поиска человеческих останков, выявления следовой картины захоронения, фиксации комплекса признаков захоронения, определения его характера и проведения криминалистического исследования [25].

Сотрудники лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова Института психологии РАН проводят занятия по основам психофизиологии для слушателей курсов повышения квалификации Санкт-Петербургской академии Следственного комитета в рамках дополнительной профессиональной программы переподготовки “Психологический анализ поведения участников предварительного расследования с применением полиграфа”. НИИ криминалистики ведёт совместную работу с Институтом общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН в рамках программы Союзного государства “ДНК-идентификация”.

В настоящее время Российской академией наук и Судебно-экспертным центром Следственного

комитета проводятся исследования более чем по 20 направлениям экспертной деятельности с использованием знаний естественных, технических и гуманитарных наук. Активное развитие судебной экспертизы обусловлено бурной цифровизацией общества. Соответственно в процессе повседневной следственной деятельности возникает потребность в анализе больших массивов фото- и видеoinформации. Ещё одна важная задача — автоматизация процессов улучшения различимости объектов, их категоризации и ситуационного анализа с использованием искусственного интеллекта (нейросетей). Определённые трудности возникают при изучении крипто-защищённых цифровых объектов (файлы криптоконтейнеров, современные мобильные устройства на базе операционных систем Android и iOS). Ощущается острая потребность в обновлении технологий биологических экспертиз: например, разработка новых судебно-экспертных технологий установления фенотипически значимых признаков, содержащих данные о внешности, возрасте и имеющихся заболеваниях, позволит существенно сузить круг проверяемых лиц. Требуются новые подходы к обнаружению, фиксации и изъятию биологических следов разрушающимися методами, к исследованию высоко деградированных ДНК и ДНК в малых количествах.

Таким образом, очевидна необходимость привлечения к решению обозначенных и других вопросов научного потенциала Российской академии наук. Положительный опыт здесь уже наработан. Ещё в 2019 г. заключено Соглашение о научно-техническом сотрудничестве между Следственным комитетом и Институтом общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН. Результатом этого стратегического партнёрства стало изучение популяционной генетической структуры населения России, что необходимо для научно обоснованных вероятностных расчётов при криминалистических ДНК-исследованиях.

Для решения задач, стоящих перед Следственным комитетом, начато создание нового для ведомства экспертного направления — психологических исследований. Как и любое из экспертных направлений, данный вид судебной экспертизы нуждается в разработке актуальной методики, учитывающей специфику деятельности следственных органов. Для создания всесторонней и объективной модели психологического исследования необходимы фундаментальные знания и компетенции в области психологии личности, которыми в полной мере обладают сотрудники Института психологии РАН.

Перспективное направление — дальнейшее развитие фоновоскопической экспертизы; речь идёт о разработке новых методов и техник определения признаков монтажа с использованием современных цифровых технологий, применяемых для редактирования файлов, а также о высокоточном программ-

ном обеспечении для распознавания звучащей речи, в том числе на разных языках.

Следует иметь в виду, что планируемое внедрение в 2025 г. цифрового рубля повлечёт за собой серьёзные экономические изменения и, как следствие, изменение объектов экономической экспертизы. В этой связи необходимо создать научно-методические основы анализа новых платёжных инструментов.

Мы располагаем успешным опытом сотрудничества в сфере судебно-экспертной деятельности с Институтом проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН и Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Сотрудники названных учреждений участвуют в экологических исследованиях в качестве внештатных экспертов в области орнитологии и ихтиологии. Следственный комитет считает целесообразным заключить с этими научными институтами долгосрочные соглашения о сотрудничестве, чтобы их специалисты на основе соглашений могли проводить экологические судебные экспертизы и оказывать консультативную помощь следственным органам.

Сотрудничество Следственного комитета и Российской академии наук положительно влияет на результаты следственной работы, а выстроенная система взаимодействия достаточно работоспособна и результативна, что наглядно подтверждает важность тесной связи науки с практикой, способствует эффективному противодействию преступности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бастрыкин А.И.* К вопросу о введении в России уголовной ответственности юридических лиц // *Расследование преступлений: проблемы и пути их решения.* 2013. № 2. С. 3–13.
Bastrykin A.I. On the issue of introducing criminal liability of legal entities in Russia // *Investigation of crimes: problems and solutions.* 2013, no. 2, pp. 3–13. (In Russ.)
2. *Бастрыкин А.И.* Уголовная ответственность юридических лиц как мера противодействия коррупции // *Вестник Академии Следственного комитета Российской Федерации.* 2014. № 1. С. 6–12.
Bastrykin A.I. Criminal liability of legal entities as a measure to combat corruption // *Bulletin of the Academy of the Investigative Committee of the Russian Federation.* 2014, no. 1, pp. 6–12. (In Russ.)
3. Уголовная и административная ответственность юридических лиц в России и во Франции: монография / Т.Я. Хабриева, А.В. Фёдоров, М. Беар-Туше и др.; под ред. А.В. Федорова. М.: Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, 2018.
Criminal and administrative liability of legal entities in Russia and France: monograph / T.Ya. Khabrieva,

- A.V. Fedorov, M. Béart-Touchet et al.; edited by A.V. Fedorov. Moscow: Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, 2018. (In Russ.)
4. *Федоров А.В.* Вопросы уголовной ответственности юридических лиц в трудах учёных Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации // Журнал российского права. 2024. № 3. С. 124–141.
Fedorov A.V. Issues of criminal liability of legal entities in the works of scientists of the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation // Journal of Russian Law. 2024, no. 3, pp. 124–141. (In Russ.)
 5. *Федоров А.В.* Уголовная ответственность юридических лиц в постсоветских государствах: монография. М.: Юрлитинформ, 2022.
Fedorov A.V. Criminal liability of legal entities in post-Soviet states: monograph. Moscow: YurLitinform, 2022. (In Russ.)
 6. *Федоров А.В.* Уголовная ответственность юридических лиц в постсоциалистических государствах Азии: монография. М.: Юрист, 2023.
Fedorov A.V. Criminal liability of legal entities in post-socialist states of Asia: monograph. Moscow: Jurist, 2023. (In Russ.)
 7. *Федоров А.В.* Посмертное осуждение // Вестник Московской академии Следственного комитета Российской Федерации имени А.Я. Сухарева. 2024. № 3. С. 11–17.
Fedorov A.V. Posthumous conviction // Bulletin of the Moscow Academy of the Investigative Committee of the Russian Federation named after A.Ya. Sukharev. 2024, no. 3, pp. 11–17. (In Russ.)
 8. *Бастрыкин А.И.* Следственный комитет Российской Федерации: законодательные инициативы и качество следствия // Расследование преступлений: проблемы и пути их решения. 2017. № 3. С. 9–13.
Bastrykin A.I. Investigative Committee of the Russian Federation: legislative initiatives and quality of investigation // Investigation of crimes: problems and solutions. 2017, no. 3, pp. 9–13. (In Russ.)
 9. *Бастрыкин А.И.* Вопросы совершенствования уголовно-процессуального законодательства в современных условиях // Вестник Московского университета МВД России. 2023. № 7. С. 41–45.
Bastrykin A.I. Issues of improving criminal procedure legislation in modern conditions // Bulletin of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2023, no. 7, pp. 41–45. (In Russ.)
 10. 300 лет следственному аппарату России (1713–2013 гг.): сб. статей по истории следственных органов / Под общ. ред. А.И. Бастрыкина; научн. ред. Д.О. Серов. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2014.
300 years of the investigative apparatus of Russia (1713–2013): collection of articles on the history of investigative bodies / Under the general editorship of A.I. Bastrykin; scientific editor D.O. Serov. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2014. (In Russ.)
 11. *Серов Д.О., Федоров А.В.* Очерки истории российских следственных органов. М.: Юрист, 2015.
Serov D.O., Fedorov A.V. Essays on the history of Russian investigative bodies. Moscow: Jurist, 2015. (In Russ.)
 12. Преступление века: Материалы следствия: Документально-архивная хронология события, связанная с гибелью российского императора Николая II, его семьи и их приближённых / Сост. А.И. Бастрыкин. В 3 т. Санкт-Петербург: Следственный комитет РФ, 2024.
Crime of the Century: Investigation Materials: Documentary and Archival Chronology of the Event Related to the Death of the Russian Emperor Nicholas II, His Family, and Their Close Associates / Comp. A.I. Bastrykin. In 3 volumes. St. Petersburg: Investigative Committee of the Russian Federation, 2024. (In Russ.)
 13. *Бастрыкин А.И.* Криминалистика: учебник. В 2 т. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2019–2022.
Bastrykin A.I. Forensic Science: Textbook. In 2 volumes. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2019–2022. (In Russ.)
 14. Организация и расследование отдельных видов экономических преступлений: учебно-методическое пособие / Под общ. ред. А.И. Бастрыкина; научн. ред. А.Ф. Волынский, В.А. Прорвич. М.: Спутник+, 2016.
Organization and investigation of certain types of economic crimes: a teaching aid / Under the general editorship of A.I. Bastrykin; scientific editors A.F. Volynsky, V.A. Prorvich. Moscow: Sputnik+, 2016. (In Russ.)
 15. *Тушканова О.В., Zubkov A.A., Vavilin A.Yu., Gudkova M.A.* Типовая методика производства информационно-аналитической экспертизы. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2023.
Tushkanova O.V., Zubkov A.A., Vavilin A.Yu., Gudkova M.A. Standard methodology for producing information and analytical expertise. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2023. (In Russ.)
 16. *Мокроусов А.А., Баранова А.И., Власкова Н.В. и др.* Типовая методика обнаружения и изъятия контактных следов с телефонов жертв, подвергшихся насильственным действиям, с использованием ситуалогического анализа обстоятельства происхождения и источников экспертного света для последующего молекулярно-генетического

- исследования. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2023.
- Mokrousov A.A., Baranova A.I., Vlaskova N.V. et al.* Standard methodology for detecting and removing contact traces from phones of victims subjected to violent acts, using situational analysis of the circumstances of the incident and expert light sources for subsequent molecular genetic research. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2023. (In Russ.)
17. *Тушканова О.В.* Типовая методика исследования компьютерной информации. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2020.
Tushkanova O.V. Standard methodology for studying computer information. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2020. (In Russ.)
 18. *Бастрыкин А.И.* Цифровые технологии современной криминалистики // Вестник Академии Следственного комитета Российской Федерации. 2021. № 2. С. 11–17.
Bastrykin A.I. Digital technologies of modern forensics // Bulletin of the Academy of the Investigative Committee of the Russian Federation. 2021, no. 2, pp. 11–17.
 19. Расследование гибели людей в результате чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: научно-практическое пособие / Под ред. А.И. Бастрыкина. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2021.
Investigation of the loss of life as a result of natural and man-made emergencies: a scientific and practical guide / Ed. A.I. Bastrykin. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2021. (In Russ.)
 20. Особенности расследования преступлений, связанных с применением запрещённых средств и методов ведения войны, в том числе в условиях проведения специальной военной операции по защите ЛНР и ДНР: Практическое пособие / Под ред. А.И. Бастрыкина. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2022.
Features of the investigation of crimes related to the use of prohibited means and methods of warfare, including in the context of a special military operation to protect the LPR and DPR: Practical guide / Ed. A.I. Bastrykin. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2022. (In Russ.)
 21. Обеспечение безопасности следственных действий в условиях чрезвычайных ситуаций, вызванных вооружёнными конфликтами, террористическими актами: памятка. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2024.
Ensuring the safety of investigative actions in emergency situations caused by armed conflicts, terrorist acts: a memo. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2024. (In Russ.)
 22. Алгоритм допросов отдельных категорий лиц при расследовании преступлений, связанных с применением запрещённых средств и методов ведения войны, в том числе в условиях проведения специальной военной операции по защите ЛНР и ДНР: памятка. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2022.
Algorithm for interrogating certain categories of persons during the investigation of crimes related to the use of prohibited means and methods of warfare, including in the context of a special military operation to protect the LPR and DPR: a memo. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2022. (In Russ.)
 23. Осмотр места происшествия, связанного с применением реактивной и ствольной артиллерии. Определение направления артиллерийского обстрела и точки стояния артиллерийской системы: памятка. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2022.
Inspection of the scene of an incident involving the use of rocket and barrel artillery. Determining the direction of artillery shelling and the location of the artillery system: a memo. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2022. (In Russ.)
 24. *Тузков Ю.Б., Вострикова Н.Л., Густова Т.В. и др.* Типовая методика криминалистического исследования мясных и мясосодержащих консервов. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2024.
Tuzkov Yu.B., Vostrikova N.L., Gustova T.V. et al. Standard methodology for forensic examination of meat and meat-containing canned goods. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2024. (In Russ.)
 25. *Тузков Ю.Б., Мокроусов А.А., Аюрамов А.С., Шведчикова Т.Ю.* Руководство по работе на месте поиска и обнаружения захоронений человеческих останков: методические рекомендации. М.: Следственный комитет Российской Федерации, 2024.
Tuzkov Yu.B., Mokrousov A.A., Ayuramov A.S., Shvedchikova T.Yu. Guidelines for work at the site of search and discovery of burials of human remains: methodological recommendations. Moscow: Investigative Committee of the Russian Federation, 2024. (In Russ.)

RELATIONSHIP BETWEEN SCIENCE AND PRACTICE IN THE ACTIVITIES OF THE INVESTIGATIVE COMMITTEE OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. Fedorov^{a,b,*}

^a*Investigative Committee of the Russian Federation, Moscow, Russia*

^b*Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia*

**E-mail: 1956af@mail.ru*

The article is devoted to a relevant topic – the relationship between science and practice in investigative activities. It is noted that in modern conditions, the effectiveness of government agencies in combating crime largely depends on the use of scientific achievements that take into account accumulated experience and the real situation. Specific examples show that the relationship between science and practice can be traced in all areas of the Investigative Committee of the Russian Federation. The changing nature of crimes and the methods of their commission necessitate the development of new scientifically based methods and technologies for collecting, verifying, evaluating and examining evidence, on the basis of which the circumstances of criminal acts are established. The author focuses on fundamental scientific research conducted with the participation of the Russian Academy of Sciences and the experience of cooperation with its scientific institutes.

The article is based on the materials of the report that the author presented at a meeting of the Presidium of the Russian Academy of Sciences on March 18, 2025.

Keywords: Investigative Committee of the Russian Federation, the relationship between science and practice, institutes of the Russian Academy of Sciences, the use of scientific research results in the activities of investigative bodies.

ТЕРМОГИДРОДИНАМИКА ОЗЁР ЗОНЫ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ РОССИИ: РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ В XXI ВЕКЕ

© 2025 г. С.А. Кондратьев^{a,*}, С.Д. Голосов^{a,**}, И.С. Зверев^{a,***}, А.М. Расулова^{a,****}

^aИнститут озераведения Российской академии наук – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: kondratyev@limno.ru

**E-mail: sergey_golosov@mail.ru

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

****E-mail: ARasulova@limno.ru

Поступила в редакцию 13.03.2025 г.

После доработки 19.03.2025 г.

Принята к публикации 30.04.2025 г.

Цель работы – ретроспективная и прогностическая оценки термических и ледовых характеристик озёр зоны многолетней мерзлоты РФ на основе спутниковой информации и математического моделирования. По спутниковым снимкам определяется географическое положение и площадь озера. С использованием геостатистических зависимостей на основе значений площади водоёма находится его средняя глубина. Полученное значение средней глубины используется в качестве параметра для расчётов термогидродинамических характеристик озера и его донных отложений по одномерной термогидродинамической модели FLake. Данные метеорологического реанализа ERA5 являются основой ретроспективной оценки характеристик водоёма, прогноз последствий климатических изменений к концу XXI в. выполнен на основе сценариев выбросов в атмосферу парниковых газов SSP. Ретроспективные и прогностические расчёты характеристик неизученных и малоизученных озёр выполняются без дополнительной верификации модели и не требуют проведения трудоёмких натурных измерений в труднодоступных районах залегания многолетнемерзлых пород. Для 15 основных озёрных регионов, покрывающих зону многолетней мерзлоты России, проведены ретроспективные (1940–2015) и прогностические (2016–2100) расчёты термогидродинамических характеристик воды и донных отложений для гипотетических озёр, расположенных в центроидах изучаемых озёрных регионов. Результаты расчётов прогрева водной массы и формирования ледового покрова озёр в рассматриваемых регионах соответствуют современным представлениям о потеплении в северных районах нашей страны.

Ключевые слова: озеро, математическая модель, дистанционное зондирование Земли, геостатистические зависимости, модель FLake, криолитозона, климатические сценарии, термогидродинамические характеристики озёр.

DOI: 10.31857/S0869587325070048, EDN: FIDBJK

Более 65% площади России занимает криолитозона, глубина залегания многолетнемерзлых пород (ММП) в которой изменяется от нескольких метров в южной части зоны и на Кольском полуострове до 900 м и более в районе прибрежных равнин Северного Ледовитого океана и некоторых

высокогорных областях. На этой территории насчитывается около 3.3 млн озёр (~88% от общего числа по стране), большая часть которых – неглубокие водоёмы (до 2–3 м) с площадью зеркала примерно 0.01 км², и только примерно 2% водоёмов имеют площадь более 1 км² [1]. Изучение озёр криолитозо-

КОНДРАТЬЕВ Сергей Алексеевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН. ГОЛОСОВ Сергей Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН. 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.

ны носит эпизодический характер и относится в основном к водоёмам особо охраняемых природных территорий. Крайне низкая изученность северных озёр России в первую очередь связана с их труднодоступностью и высокой стоимостью проведения экспедиционных работ. С 2000-х годов, с развитием спутниковых технологий, ситуация несколько улучшилась, однако такие работы в основном связаны с динамикой изменения площади озёр [2–4].

Цель настоящей статьи – оценка (как ретроспективная, так и прогностическая) временной динамики термических и ледовых характеристик озёр в зоне многолетней мерзлоты России на основе методов спутниковой съёмки и математического моделирования. Объект исследования – малые и средние континентальные озёра (площадью до 100 км²), расположенные в зоне залегания многолетнемерзлых пород на всей территории Российской Федерации. С целью разделения озёр криолитозоны на группы идентичных по морфометрическим параметрам водоёмов было использовано районирование на озёрные регионы, согласно классификации, предложенной в работах [5, 6]. Районирование на озёрные регионы основывается на принципе, подразумевающем общность геологической истории формирования большинства озёрных котловин. Данный подход даёт возможность учитывать влияние геологических и геоморфологических процессов образования озёрной котловины, а также влияние на её формирование климата [6–8]. Единое происхождение котловин позволяет определить типичные особенности озёр и диапазон их изменчивости, обусловленный внутренней структурой региона. Важный критерий,

который был учтён при районировании, – однородность естественной озёрности (отношение площади водоёмов озёр к общей площади территории) внутри каждого региона. Таким образом, для каждого озёрного региона характерно сходство геологических и климатических условий.

Зону залегания ММП практически полностью покрывают следующие пятнадцать озёрных регионов (рис. 1): 1 – кольский сегмент Балтийского кристаллического щита; 2 – прибрежные равнины Баренцева моря; 3 – западный склон Уральской горной страны; 4 – восточный склон Уральской горной страны; 5 – прибрежные равнины Карского моря; 6 – горы Бырранга и Северной Земли; 7 – прибрежные равнины моря Лаптевых; 8 – прибрежные равнины Восточно-Сибирского моря; 9 – аккумулятивные, аккумулятивно-денудационные и озёрно-аллювиальные равнины таёжной зоны; 10 – плато Путорана; 11 – Среднесибирское плоскогорье; 12 – горные области Северо-Восточной Сибири и севера Дальнего Востока; 13 – вулканические области Дальнего Востока; 14 – Алтайско-Саянская горная страна; 15 – Байкальская горная страна. Границы распространения ММП построены на основе материалов Национального атласа России [9].

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ

Ниже (рис. 2) приведена схема ретроспективной и прогностической оценки параметров неизученных и малоизученных водных объектов на основе результатов дистанционного зондирования Земли и математического моделирования. Основные эта-

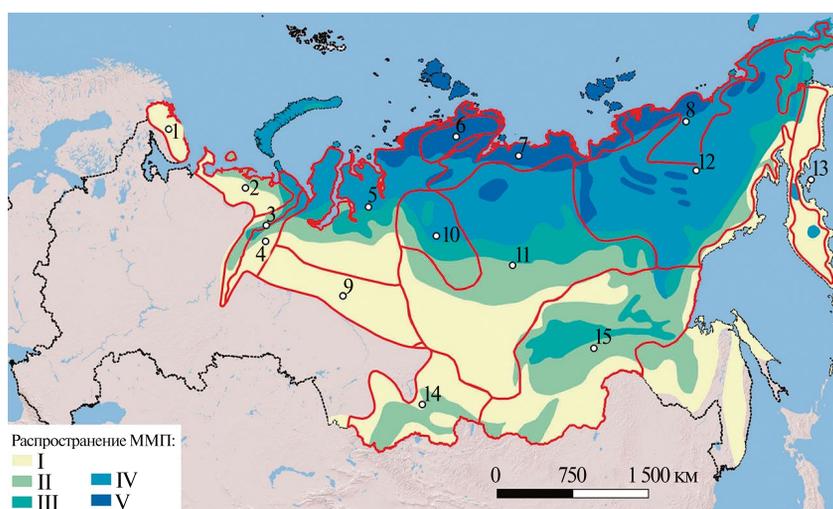


Рис. 1. Озёрные регионы РФ, находящиеся в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП): I – зона редкоостровного, островного и массивно-островного распространения ММП мощностью мерзлотной толщи 0–100 м, II – зона сплошного распространения ММП мощностью 50–300 м, III – мощностью 100–400 м, IV – мощностью 200–600 м, V – мощностью 400–900 м и ниже.

Красная линия – границы озёрных регионов [6]; чёрная линия – границы РФ; точки – центры соответствующих озёрных регионов



Рис. 2. Схема ретроспективной и прогностической оценок абиотических характеристик неизученных озёр с использованием методов дистанционного зондирования и математического моделирования

пы дистанционной оценки термогидродинамических (ТГД) характеристик неизученного водоёма:

- по космическим снимкам земной поверхности дешифрируется интересующий водный объект, а затем определяются его географические координаты и площадь акватории;
- на основе общедоступных данных (например, баз данных WORDLAKE¹ и HydroLAKES², а также других литературных источников) строятся геостатистические связи между морфометрическими характеристиками однородной группы водных объектов, прежде всего $H = f(A)$, где H – средняя глубина водоёма, A – площадь его акватории;
- по географическим координатам водного объекта из баз данных метеорологического реанализа (например, ERA5³) или на основе метеонаблюдений получают ретроспективную метеоинформацию требуемого разрешения;
- метеопараметры и рассчитанная средняя глубина водоёма подаются на вход модели FLake [11–13] с целью получения ретроспективной оценки характеристик водного объекта;
- прогнозирование последствий климатических изменений в XXI в. может выполняться на основе сценариев выбросов в атмосферу парниковых газов SSP (Shared Socio-economic Pathway⁴). Входная прогностическая информация для модели FLake

¹ Разработка Института озероведения РАН [10].

² HydroLAKES. <https://www.hydrosheds.org/products/hydrolakes>

³ ERA5. <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5>

⁴ Climate Data. <https://cds.climate.copernicus.eu> (дата обращения 15.03.2024).

для региона исследований основана на результатах пересчёта выбросов парниковых газов SSP в метеорологические параметры по глобальным климатическим моделям. Прогностические сценарии изменения метеопараметров в совокупности с геостатистической оценкой глубины водоёма позволяют получать прогностические оценки характеристик озера в настоящее время.

Термический режим большинства озёр определяют прежде всего атмосферные воздействия и форма озёрной котловины. В изложенной методике воздействие атмосферы учитывается за счёт использования данных метеорологического реанализа при ретроспективной оценке характеристик озера и разных прогностических сценариев изменения метеорологических параметров, соответствующих различным сценариям выброса парниковых газов в атмосферу в будущем. Влияние формы котловины на ТГД озера определяется через учёт соотношений между морфометрическими параметрами водоёма, характерными для рассматриваемого озёрного региона.

Важно иметь в виду, что в зависимости от целей и задач того или иного исследования, а также от особенностей морфометрии озера блоки, представленные на схеме (см. рис. 2), могут быть заменены на аналогичные или полностью отсутствовать. Построенная схема оценки и прогноза изменений характеристик разнотипных озёр различного генетического происхождения может применяться для малых и средних неизученных и малоизученных водоёмов России, включая объекты зоны многолетней мерзлоты.

Предлагаемая методика оценки абиотических характеристик неизученных озёр зоны многолетней мерзлоты основана на гидрофизическом моделировании с помощью модели FLake. Эта модель, разработанная совместными усилиями российских и немецких учёных (Институт озероведения РАН, Институт водных проблем Севера РАН, Институт водной экологии и внутреннего рыбоводства Германии (IGB) и Служба погоды Германии (DWD)), представляет собой универсальную одномерную модель ТГД-процессов в озёрах. В настоящее время модель FLake широко применяют в метеорологических организациях разных стран (включая Международный европейский центр среднесрочных прогнозов погоды и систему COSMO в России) для численного прогноза погоды с учётом влияния озёр на локальный климат [14]. Благодаря широкому практическому применению модель FLake может быть использована для оценки неизученных озёр без дополнительной верификации.

Модель основана на решении одномерного нестационарного уравнения теплопроводности как в водной массе, так и в донных отложениях. Вертикальные профили описываются автомодельными представлениями в обеих средах, что позволяет избежать расчёта/задания коэффициентов турбулентного/молекулярного обмена. Несмотря на обширные возможности модели и её универсальность, водные объекты, к которым применяется модель, должны удовлетворять следующим условиям:

- отдельные участки акватории не должны характеризоваться значительными климатическими различиями. Данное условие – следствие одномерности модели;
- процессы перемешивания в водоёме имеют либо ветровое, либо конвективное происхождение. Вторичные эффекты (сейшевые колебания, прибрежное трение и т.д.), а также адвекция не должны играть существенную роль в турбулентном перемешивании водоёма;
- форму дна можно аппроксимировать горизонтальной плоскостью, что обусловлено необходимостью избегать наличия в водоёме склоновых плотностных течений, которые могут приводить к формированию придонного пограничного слоя. Модель не описывает придонный пограничный слой, поскольку вертикальный профиль температуры представлен в автомодельной форме.

В соответствии с перечисленными условиями максимальное значение площади рассматриваемых озёр определено примерно в 100 км² [15].

В настоящей работе для озёрных регионов зоны ММП использованы геостатистические зависимости глубины озера (H) от его площади (A), полученные в результате статистической обработки данных из баз WORLDLAKE [16] и HydroLAKES [17]. В таблице 1 приведены зависимости $H = f(A)$ для раз-

личных озёрных регионов, а также географические координаты их центроидов (центров тяжести). Каждый центроид представляет собой барицентр слоя озёрного региона, его координаты – это средние значения координат всех узлов полигона, которые определены с использованием программы QGIS.

Ретроспективное воздействие климатических факторов на ТГД-процессы в озёрах с 1940 по 2015 г. оценивалось путём использования данных метеорологического реанализа семейства ERA5, которые представляют собой восстановленные значения метеорологических параметров для всей планеты, которые ежедневно обновляются с задержкой примерно в 5 дней. При прогностических расчётах по модели FLake в качестве входных гидрометеорологических данных использованы оценки климатических воздействий по SSP сценариям эволюции антропогенных выбросов парниковых газов в атмосферу [18, 19] с 2016 по 2100 г.

Считалось, что эмиссия парниковых газов в атмосферу должна соответствовать сценариям SSP-2.6 или SSP-8.5, то есть лучшему или худшему с точки зрения воздействия на окружающую среду варианту. Сценарий SSP-2.6 предполагает, что выбросы диоксида углерода начнут неуклонно снижаться и достигнут нуля к 2100 г. В сценарии SSP-8.5 выбросы парниковых газов продолжают расти в течение всего XXI столетия теми же темпами, что и сейчас. Значения метеорологических параметров (коротковолновая радиация, температура воздуха, давление водяного пара, скорость ветра, облачность, осадки), являющиеся входными данными в модель FLake и соответствующие климатическим сценариям SSP в изучаемом регионе, рассчитаны с использованием климатической модели CanESM5. Эта модель входит в ансамбль из 37 глобальных климатических моделей, которые использовались в рамках 6-й фазы международного проекта сравнения объединённых моделей CMIP6⁵. Выбор именно этой модели объясняется тем, что она позволяет получать метеорологические характеристики необходимого разрешения для модели FLake. Стыковка данных реанализа и прогностической информации выполнена для момента начала прогноза, то есть для 2015 г. Адаптация сценариев SSP к ретроспективным данным реанализа и их стыковка выполнены на основе метода корректировки значений метеорологических параметров. Этот метод предложен в работе [20] и использован для согласования данных реанализа ERA5 (1940–2015) и прогностических SSP-сценариев (2016–2100).

ДИНАМИКА ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗЁР

Одна из основных целей моделирования – выход за рамки возможного натурального эксперимента – реализована в настоящей работе, поскольку

⁵ CMIP6 climate projections. <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/projections-cmip6?tab=overview>

объектами исследования являются неизученные и малоизученные труднодоступные озёра зоны залегания многолетнемёрзлых пород. Расчёты термогидродинамических характеристик выполнялись для гипотетических озёр, расположенных в точках с координатами центроидов озёрных регионов и средними значениями глубин озёр рассматриваемого региона (см. рис. 1, табл. 1) за период 1940–2100 гг. Ретроспективная динамика характеристик озёр за период 1940–2015 гг. рассчитывалась с использованием информации гидрометеорологического реанализа ERA5. Далее с 2016 до 2100 г. в качестве входной информации служили данные климатических прогнозов SSP-2.6 и SSP-8.5.

На рисунке 3 представлены результаты расчёта среднегодовых значений температуры воды, максимальной толщины льда и продолжительности ледостава в 1940, 2015 и 2100 гг. для 15 озёр, расположенных в центроидах рассматриваемых озёрных регионов.

Как свидетельствуют результаты расчётов, экстремальные условия прогрева водной массы водоёмов характерны для озёрных регионов Алтайско-Саянской горной страны (№ 14) с максимальным прогревом озёр и горы Бырранга и Северной Земли (№ 6) с минимальным прогревом. Среднегодовая температура воды в озёрах этих регионов в 1940 г. составила 8.94 и 0.67°C, соответственно, а в 2015 г. – 9.26 и 0.96°C. При этом к 2100 г. среднегодовой прогрев озёр региона № 14 может достичь значений

11.40°C при реализации худшего климатического сценария SSP 8.5 (возрастёт на 27.1% по отношению к 1940 г.). В регионе № 6 значение среднегодовой температуры воды увеличится с 0.67 до 4.5°C к 2100 г., что составит 572.6% по отношению в 1940 г. При реализации лучшего климатического сценария для всех озёрных регионов сохранится тенденция увеличения средней температуры водоёмов, однако она будет иметь менее выраженный характер. Для озёрных регионов горных областей Северо-Восточной Сибири и севера Дальнего Востока (№ 12) ожидается даже незначительное снижение температуры по сравнению с 2015 г. (на 0.04°C). В целом по всем 15 регионам изменения температуры воды, максимальной толщины льда и продолжительности ледостава за период 1940–2100 гг. составят соответственно 124.5, –31.9 и –26.2% относительно значений 1940 г.

Из общих физических соображений понятно, что изменения средней температуры водной массы озёр ведут к соответствующим изменениям максимальной толщины льда. Это подтверждают выполненные расчёты: при реализации худшего климатического сценария во всех озёрных регионах ожидается снижение максимальной толщины льда. В регионе № 14 снижение значения максимальной толщины льда при реализации наиболее неблагоприятного сценария SSP 8.5 к 2100 г. составит 0.09 м (–14.8%) по отношению к 1940 г. В регионе № 6 указанное снижение может достигать 0.83 м (–36.9%). Однако

Таблица 1. Геостатистические зависимости средней глубины озера от его площади $H = f(A)$, медианные значения средней глубины озера H_{cp} и географические координаты центроидов для озёрных регионов

№ региона	Географические координаты центроидов	$H = f(A)$	$H_{cp}, м$
1	34.781253 в.д., 68.189015 с.ш.	$H = 6.3967 A^{0.191}$	5.2
2	54.837375 в.д., 67.361336 с.ш.	$H = 4.1834 A^{0.0349}$	4.2
3	61.587303 в.д., 65.221466 с.ш.	$H = 5.4025 A^{0.1432}$	4.6
4	62.53119 в.д., 63.98283 с.ш.	$H = 5.2418 A^{0.1545}$	4.4
5	80.882440 в.д., 68.828103 с.ш.	$H = 4.1285 A^{0.1059}$	3.7
6	100.811096 в.д., 74.905214 с.ш.	$H = 8.9658 A^{0.1751}$	7.9
7	153.976037 в.д., 69.314860 с.ш.	$H = 5.2117 A^{0.1736}$	4.6
8	115.653177 в.д., 72.619205 с.ш.	$H = 4.4222 A^{0.112}$	3.9
9	78.80041 в.д., 61.34931 с.ш.	$H = 3.5516 A^{0.1037}$	3.2
10	95.509105 в.д., 66.887258 с.ш.	$H = 8.0389 A^{0.173}$	6.7
11	109.940358 в.д., 63.974322 с.ш.	$H = 5.1943 A^{0.1701}$	4.3
12	149.87252 в.д., 65.58758 с.ш.	$H = 6.1950 A^{0.1376}$	5.0
13	165.076459 в.д., 59.064097 с.ш.	$H = 4.6982 A^{0.0667}$	4.2
14	93.28403 в.д., 53.15034 с.ш.	$H = 5.9311 A^{0.1355}$	5.2
15	120.486119 в.д., 55.905941 с.ш.	$H = 4.0130 A^{0.1209}$	3.5

Примечание: номер региона соответствует номерам на рисунке 1.

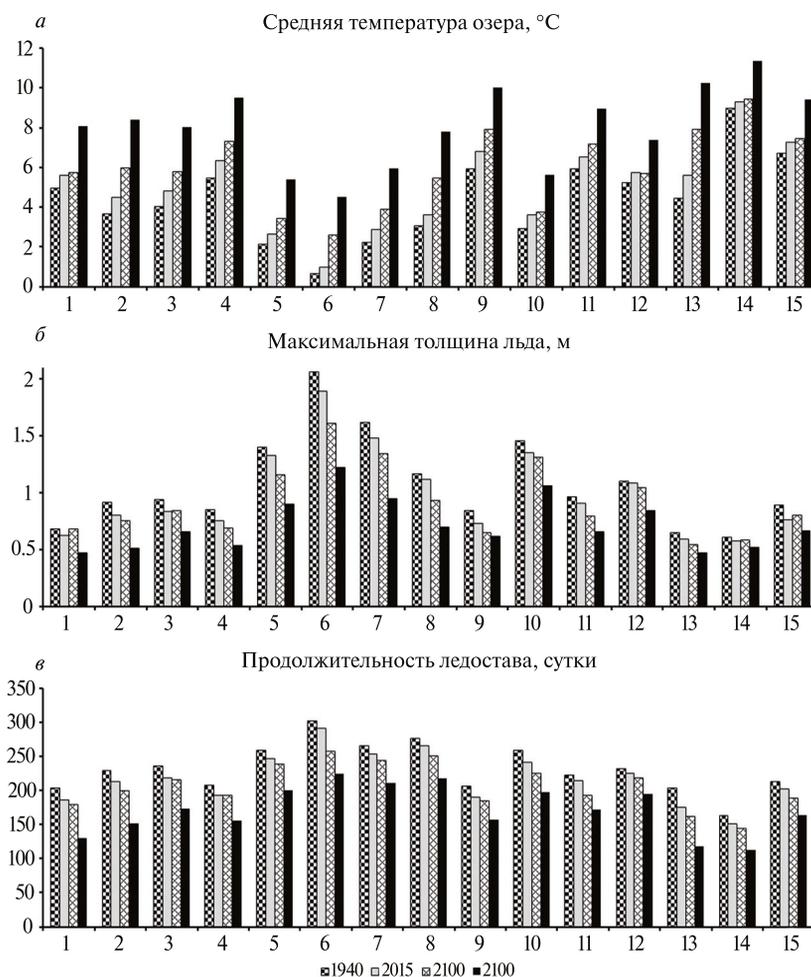


Рис. 3. Результаты расчёта среднегодовых значений температуры воды, максимальной толщины льда и продолжительности ледостава в 1940, 2015 и 2100 гг. (по климатическим сценариям SSP-2.6 и SSP-8.5) для 15 гипотетических озёр, расположенных в центроидах изучаемых озёрных регионов (номера – в соответствии с рис. 1 и табл. 1)

при реализации лучшего климатического сценария максимальная толщина льда для озёрных регионов Кольского сегмента Балтийского кристаллического щита (№ 1), Алтайско-Саянской горной страны (№ 14) и горных областей Северо-Восточной Сибири и севера Дальнего Востока (№ 12) будет практически сопоставима с показателями 1940 г. (от -0.28 до -5.1%). Продолжительность ледостава в рассматриваемых озёрных регионах в целом повторяет закономерность изменения толщины льда, но существенно менее изменчива между регионами по сравнению с температурой воды и максимальной толщиной льда.

Несмотря на общую закономерность распределения средней температуры, максимальной толщины льда и продолжительности ледостава по озёрным регионам, при которой минимальные значения продолжительности ледостава наблюдаются в регионе № 14, а максимальные – в регионе № 6, экстремальные изменения длительности ледостава по отношению к ретроспективным оценкам ожидаются в дру-

гих озёрных регионах. Минимальное сокращение продолжительности ледостава по худшему сценарию может произойти в озёрном регионе горных областей Северо-Восточной Сибири и севера Дальнего Востока (№ 12) и составит 36 суток по отношению к 1940 г., а при лучшем сценарии – 13 суток. Максимальное изменение продолжительности ледостава при худшем климатическом сценарии ожидается в озёрном регионе Вулканических областей Дальнего Востока (№ 13). Здесь длительность ледостава уменьшится на 86 суток (-42.2%) по сравнению с 1940 г. и сократится до 117 суток.

Минимальные относительные изменения средних температур водоёмов (до 100% относительно 1940 г. при худшем климатическом сценарии) характерны для озёрных регионов с континентальным климатом (№ 3, 4, 9–12, 14, 15), тогда как максимальные – для прибрежных регионов (№ 2, 5–8, 13). Исключение составляет озёрный регион Кольского сегмента Балтийского кристаллического щита (№ 1),

где, несмотря на прибрежное расположение, средняя температура озера изменяется незначительно. В отличие от средней температуры водоёмов, максимальная толщина льда не столь чётко коррелирует с климатом и удалённостью от берега. В этом случае минимальное относительное уменьшение максимальной толщины льда (ниже 30% относительно 1940 г. по худшему сценарию) ожидается в озёрных регионах с континентальным климатом (№ 9, 10, 12, 14, 15), а максимальное — в прибрежных (№ 1, 3, 4–8). Исключение составляют вулканические области Дальнего Востока (№ 13), где, несмотря на морской климат, отмечается минимальное уменьшение толщины льда, и Среднесибирское плоскогорье (№ 11), где в условиях континентального климата наблюдается наибольшее относительное изменение максимальной толщины льда.

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДНОЙ МАССЫ

На рисунке 4 показаны ретроспективная и прогностическая оценки временной динамики среднегодовой температуры водной массы и максимальной толщины ледового покрова для гипотетических водоёмов в центрах озёрных регионов Алтайско-Саянской горной страны (№ 14) и гор Бырранга и Северной Земли (№ 6), в которых (см. рис. 3) выявлены экстремальные значения прогрева за период 1940–2100 гг.

Среднегодовые значения температуры озёр региона № 14 практически не изменились за период с 1940 г. по настоящее время и слабо реагируют на климатические изменения (экологически благоприятный сценарий SSP-2.6). Реализация сценария SSP-8.5 приведёт к росту средней температуры озёр до 12°C. Озёрный регион № 6 демонстрирует существенную ретроспективную нестабильность ТГД-характеристик, которая проявляется в том, что средняя температура воды в 1960–1990 гг. иногда снижалась до 0°C. Последующее возрастание температуры воды плавно переходит в прогностические оценки по обоим сценариям и продолжается до середины XXI в. После этого результаты расчёта по экологически благоприятному сценарию SSP-2.6 стабилизируются около значения среднегодовой температуры воды 2.7°C и максимальной толщины льда 1.6 м. Реализация неблагоприятного сценария SSP-8.5 приведёт к увеличению среднегодовой температуры до 4.6°C и уменьшению максимальной толщины ледового покрова до 1.2 м к концу столетия. Рисунок 5 иллюстрирует результаты ретроспективной и прогностической оценки внутригодовой динамики потока тепла через дно и толщины слоя сезонного оттаивания донных отложений для озёр Алтайско-Саянской горной страны и гор Бырранга и Северной Земли в период с 2015 по 2100 г.

Рассчитанные абсолютные значения потока тепла через границу раздела вода–дно крайне невелики — менее 8 Вт/м², к тому же в течение года он может быть разнонаправленным, и суммарный поток тепла, направленный в донные отложения, будет ещё меньше (рис. 5). Тем не менее этого оказывается достаточно для небольшого слоя сезонного оттаивания донных отложений. По данным моделирования, толщина слоя сезонного оттаивания в озёрах региона № 14 (Алтайско-Саянская горная страна) может достигать 0.14 м, для озёр региона № 6 (горы Бырранга и Северной Земли) — 0.05 м. При этом потепление климата приведёт к смещению максимума времени оттаивания донных отложений на более ранний период.

Ситуация с прогревом водной массы и донных отложений, а также с формированием ледового покрова озёр в рассматриваемых озёрных регионах зоны многолетней мерзлоты соответствует современным представлениям о потеплении на северных территориях нашей страны. Прогрев воды и донных отложений увеличивается, а толщина льда уменьшается во всех водоёмах, при этом образование, на-

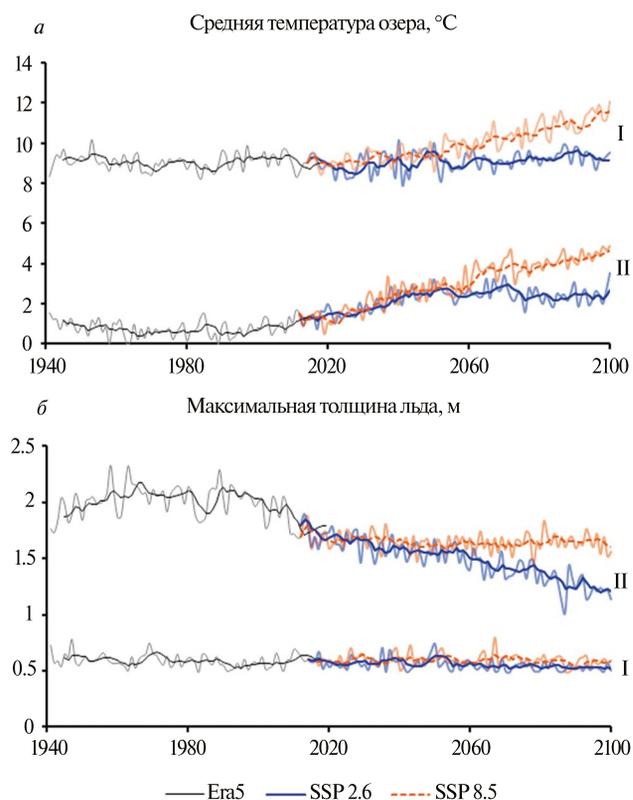


Рис. 4. Ретроспективная (Era5) и прогностическая (SSP-2.6 и SSP-8.5) оценки динамики среднегодовой температуры водной массы и максимальной толщины ледового покрова (жирные линии — пятилетнее скользящее среднее) для озёр, расположенных в центроидах областей № 14 (I) и № 6 (II) за период 1940–2100 гг.

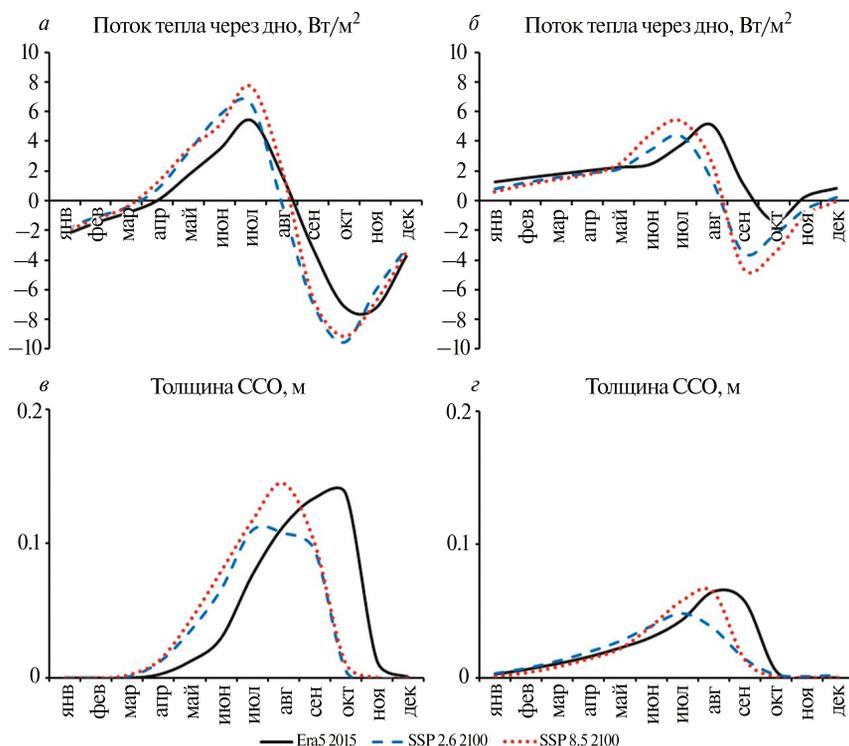


Рис. 5. Ретроспективная (Era5 2015 г.) и прогностическая (SSP-2.6 2100 г. и SSP-8.5 2100 г.) оценки внутригодовой динамики потока тепла через дно и толщины слоя сезонного оттаивания (ССО) донных отложений для озёр, расположенных в центроидах областей 14 (а, в) и 6 (б, г) в 2015 и 2100 гг.

растание и таяние льда в озёрах является главным образом результатом взаимодействия водной массы с атмосферой.

* * *

Имитационные (ретроспективные) и прогностические расчёты термогидродинамических характеристик неизученных водных объектов на основе модели FLake позволили сформулировать следующие основные выводы.

В целом по всем 15 озёрным регионам изменения температуры воды, максимальной толщины льда и продолжительности ледостава за период 1940–2100 гг. составят соответственно 124.5, –31.9 и –26.2% относительно значений 1940 г.

Экстремальные условия прогрева водной массы водоёмов характерны для озёрных регионов Алтайско-Саянской горной страны (№ 14) с максимальным прогревом озёр и гор Бырранга и Северной Земли (№ 6) с минимальным прогревом.

Повышение средней температуры водной массы озёр ведёт к сокращению максимальной толщины льда. При реализации худшего климатического сценария (сохранение нынешнего уровня выброса в атмосферу парниковых газов) во всех озёрных регионах ожидается снижение максимальной толщины льда. При реализации более благоприятного климатического сценария максимальная толщина льда

в озёрных регионах № 1, 13–15 будет практически сопоставима с показателями 1940 г.

Продолжительность ледостава в рассматриваемых озёрных регионах в целом повторяет закономерность изменения толщины льда, но существенно менее изменчива между регионами по сравнению с температурой воды и максимальной толщиной льда.

Рассчитаны значения потока тепла через границу раздела вода–дно, которые в течение года могут быть разнонаправленными, а также слоя сезонного оттаивания донных отложений. Толщина слоя сезонного оттаивания в озёрах региона № 14 может достигать 0.14 м, в озёрах региона № 6 – 0.05 м. Потепление климата приведёт к смещению времени оттаивания донных отложений на более ранний период.

Результаты моделирования позволяют предположить, что ТГД-характеристики водных объектов в озёрных регионах с континентальным климатом (№ 9–11, 14, 15) менее зависимы от возможных климатических воздействий, чем в приморских регионах (№ 1, 2, 5–8, 13).

Основными факторами, определяющими перечисленные закономерности формирования термогидродинамического режима изучаемых озёр, являются особенности строения озёрной котловины и климатические воздействия. Особенности строения котловины учитываются в рассматриваемой расчётной методике как соотношение площади ак-

ватории и средней глубины озера. Ретроспективные климатические воздействия приняты во внимание при формировании баз данных реанализа на основе материалов наземного мониторинга. Климатические сценарии на ближайшее будущее разработаны на основе результатов моделирования общей циркуляции атмосферы и океана [18]; среди прочих факторов учтена высота озёрной котловины над уровнем моря.

Ответы на возможные вопросы о причинах возникновения выявленных на основе моделирования особенностей и закономерностей формирования термогидродинамического режима предполагают анализ соотношения морфометрических и климатических параметров, которые для рассмотренных озёрных регионов существенно различаются. Очевидное направление совершенствования методов оценки морфометрических параметров озёр – детальное изучение строения озёрных котловин в пределах каждого региона. Для этого необходимо создать расширенную и хорошо оснащённую систему мониторинга поверхностных вод. Всё это не затронет общую концепцию методики дистанционной оценки характеристик неизученных и малоизученных озёр нашей страны и приведёт лишь к существенному уточнению расчётных оценок.

Для расширения возможностей предложенной методики в область оценки химико-биологических параметров озёрной экосистемы нужно привлекать соответствующие экосистемные модели. Примером такой модели может служить FLakeEco [21], которая позволяет выполнять расчёты содержания кислорода в воде, биомассы и первичной продукции фитопланктона. Однако такая модель требует верификации по данным натурных наблюдений, с тем чтобы определить её химико-биологические параметры, а это затруднительно в отдалённых северных регионах. Остаётся надеяться на развитие системы мониторинга водных объектов, в рамках которой будет собран материал для апробации моделей химико-биологических процессов в озёрах (например, FLakeEco), что позволит дополнить методику, изложенную в настоящей работе.

Представленные результаты имитационного и прогностического моделирования подтверждают широкий спектр возможностей предложенной методики при решении задач количественной оценки и прогноза изменений термогидродинамических процессов в малых и средних по площади озёрах, расположенных в различных физико-географических и климатических условиях, при недостатке или отсутствии данных натурных наблюдений. Таким образом реализуется одно из основных предназначений моделирования – выход за рамки возможного натурального эксперимента.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке проекта Российского научного фонда 24-27-00067.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Измайлова А.В.* Водные ресурсы озёр Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 5–14.
Izmailova A.V. Water resources of lakes in the Russian Federation // Geography and Natural Resources. 2016, no. 4, pp. 5–14. (In Russ.)
2. *Кравцова В.И., Родионова Т.В.* Исследование динамики площади и количества термокарстовых озёр в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 1. С. 81–89.
Kravtsova V.I., Rodionova T.V. Study of the dynamics of the area and number of thermokarst lakes in different regions of the Russian cryolithozone using space images // Earth Cryosphere. 2016, vol. 20, no. 1, pp. 81–89. (In Russ.)
3. *Пшеничников А.Е.* Исследование динамики термокарстовых озёр в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам за первые два десятилетия XXI века // Геодезия и картография. 2021. Т. 82. № 7. С. 32–42. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-973-7-32-42
Pshenichnikov A.E. Study of thermokarst lakes dynamics in different regions of the Russian cryolithozone based on space images for the first two decades of the XXI century // Geodesy and Cartography. 2021, vol. 82, no. 7, pp. 32–42. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-973-7-32-42 (In Russ.)
4. *Брыксина Н.А., Полищук Ю.М.* Ландшафтно-геокриологический анализ изменения количества озёр на территории Западной Сибири с использованием космических снимков // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2016. № 5. С. 36–45.
Bryksina N.A., Polishchuk Y.M. Landscape-geocryological analysis of changes in the number of lakes on the territory of Western Siberia using space images // Problems of Environment and Natural Resources. 2016, no. 5, pp. 36–45. (In Russ.)
5. *Румянцев В.А.* Озёра азиатской части России. СПб.: Своё издательство, 2017.
Rumyantsev V.A. Lakes of the Asian part of Russia. SPb.: Svooy publishing house, 2017. (In Russ.)
6. *Измайлова А.В.* Озёра России. Закономерности распределения, ресурсный потенциал. СПб.: Папирус, 2018.
Izmailova A.V. Lakes of Russia. Regularities of distribution, resource potential. SPb.: Papyrus, 2018. (In Russ.)
7. Реки и озёра мира. Энциклопедия / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: Энциклопедия, 2012.
Rivers and lakes of the world. Encyclopedia / Ed. by V.I. Danilov-Danilyan. Moscow: Encyclopedia Publishing House, 2012. (In Russ.)

8. *Румянцев В.А., Дрabbкова В.Г., Измайлова А.В.* Озёра европейской части России. СПб.: ЛЕМА, 2015.
Rumyantsev V.A., Drabkova V.G., Izmailova A.V. Lakes of the European part of Russia. SPb.: LEMA, 2015. (In Russ.)
9. Национальный атлас России. Т. 2. Природа. Экология / Гл. ред. А.В. Бородко, гл. ред. тома В.М. Котляков. М.: Картография, 2007.
National Atlas of Russia. Vol. 2. Nature. Ecology / Editor-in-Chief A.V. Borodko, Editor-in-Chief of the volume V.M. Kotlyakov. Moscow: Cartography, 2007. (In Russ.)
10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015621549 Российская Федерация. Озёра мира WORLDLAKE: № 2015620713: заявл. 15.06.2015: опублик. 13.10.2015 / Н.В. Кочков, С.В. Рянжин; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт озераведения Российской академии наук (ИНОЗ РАН). Certificate of state registration of database No. 2015621549 Russian Federation. WORLDLAKE World Lakes: No. 2015620713: claimed 15.06.2015: published 13.10.2015 / N.V. Kochkov, S.V. Ryzanzhin; applicant Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences (INOZ RAS). (In Russ.)
11. *Golosov S., Kirillin G.* A parameterized model of heat storage by lake sediments // *Environmental Modelling & Software*. 2010, vol. 25, no. 6, pp. 793–801. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.01.002
12. *Kirillin G., Nützmann G., Hochschild J. et al.* FLake-Global: Online lake model with worldwide coverage // *Environmental Modelling & Software*. 2011, vol. 26, no. 5, pp. 683–684.
13. *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, vol. 15, pp. 218–230.
14. *Mironov D.V.* Parameterization of Lakes in Numerical Weather Prediction. Description of a Lake Model // COSMO Technical Report. No. 11. Offenbach am Main: German Weather Service, 2008.
15. *Zverev I.S., Golosov S.D., Kondratiev S.A., Rasulova A.M.* Procedure for Remote Assessment of the Characteristics of Unexplored Lakes in the Continental Part of the Russian Tundra // *Doklady Earth Sciences*. 2023, vol. 511, no. 2, pp. 726–731. DOI: 10.1134/s1028334x23600779
16. *Рянжин С.В., Ульянова Т.Ю.* Геоинформационная система “озёра мира” – GIS WORLDLAKE // Доклады Академии наук. 2000. Т. 370. № 4. С. 542–545.
Ryzanzhin S.V., Ulyanova T.Yu. Geoinformation system “lakes of the world” – GIS WORLDLAKE // Reports of the Academy of Sciences. 2000, vol. 370, no. 4, pp. 542–545. (In Russ.)
17. *Messenger M., Lehner B., Grill G., Nedeva I., Schmitt O.* Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach // *Nat Commun*. 2016, vol. 7 (1), 13603. DOI: 10.1038/ncomms13603
18. IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 2021. DOI:10.1017/9781009157896
19. *Семёнов С.М., Гладильщикова А.А.* Сценарии антропогенных изменений климатической системы в XXI веке // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2022. Т. 8. № 1. С. 75–106. DOI: 10.21513/2410-8758-2022-1-75-106
Semenov S.M., Gladilshchikova A.A. Scenarios of anthropogenic changes in the climate system in the XXI century // *Fundamental and Applied Climatology*. 2022, vol. 8, no. 1, pp. 75–106. DOI: 10.21513/2410-8758-2022-1-75-106 (In Russ.)
20. *Кондратьев С.А., Бовыкин И.В.* Влияние возможных климатических изменений на гидрологический режим системы водосбор–озеро // *Метеорология и гидрология*. 2003. № 10. С. 86–96.
Kondratyev S.A., Bovykin I.V. Influence of possible climatic changes on the hydrological regime of the watershed-lake system // *Meteorology and Hydrology*. 2003, no. 10, pp. 86–96. (In Russ.)
21. *Терзевик А.Ю., Пальшин Н.И., Голосов С.Д. и др.* Гидрофизические аспекты формирования кислородного режима мелководного озера, покрытого льдом // *Водные ресурсы*. 2010. Т. 37. № 5. С. 568–579.
Terzhevik A.Yu., Palshin N.I., Golosov S.D. et al. Hydrophysical aspects of oxygen regime formation in a shallow ice-covered lake covered // *Water Resources*. 2010, vol. 37, no. 5, pp. 568–579. (In Russ.)

THERMOHYDRODYNAMICS OF LAKES IN THE PERMAFROST ZONE OF RUSSIA: RETROSPECTIVE ASSESSMENT AND FORECAST OF CHANGES IN THE 21st CENTURY

S.A. Kondratiev^{a,*}, S.D. Golosov^{a,**}, I.S. Zverev^{a,***}, A.M. Rasulova^{a,****}

^a*Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences – St. Petersburg FRC RAS, St. Petersburg, Russia*

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

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

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

*****E-mail: ARasulova@limno.ru*

The objective of the work is a retrospective and prognostic assessment of thermal and ice characteristics of lakes in the permafrost zone of the Russian Federation based on satellite information and mathematical modeling. The geographic location and area of the lake are determined using satellite images. Using geostatistical dependencies based on the area values of the reservoir, its average depth is found. The obtained value of the average depth is used as a parameter for calculating the thermohydrodynamic characteristics of the lake and its bottom sediments using the one-dimensional thermohydrodynamic model FLake. The ERA5 meteorological reanalysis data are the basis for the retrospective assessment of the reservoir characteristics; the forecast of the consequences of climate change by the end of the 21st century is made on the basis of SSP greenhouse gas emission scenarios into the atmosphere. Retrospective and prognostic calculations of the characteristics of unexplored and poorly studied lakes are performed without additional verification of the model and do not require labor-intensive in-kind measurements in hard-to-reach areas of permafrost. Retrospective (1940–2015) and prognostic (2016–2100) calculations of thermohydrodynamic characteristics of water and bottom sediments for hypothetical lakes located in the centroids of the studied lake regions were performed for 15 main lake regions covering the permafrost zone of Russia. The results of calculations of water mass heating and ice cover formation in lakes in the regions under consideration correspond to modern ideas about global warming in the northern regions of our country.

Keywords: lake, mathematical model, Earth remote sensing, geostatistical dependencies, FLake model, cryolithozone, climate scenarios, thermohydrodynamic characteristics of lakes.

ЭВОЛЮЦИЯ КИТАЙСКОЙ ИММИГРАЦИИ В США: ИСТОРИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ

© 2025 г. Н.Е. Петровская^{а,*}, М.А. Черных^{а,**}

^аИнститут США и Канады им. Г.А. Арбатова РАН,
Москва, Россия

*E-mail: n.petrovskaya@iskran.ru

**E-mail: m.chernyh@iskran.ru

Поступила в редакцию 01.03.2025 г.
После доработки 20.03.2025 г.
Принята к публикации 12.05.2025 г.

Статья посвящена эволюции китайской иммиграции в США в прошлом и в настоящее время. Определены внутренние и внешние факторы первой массовой волны китайской иммиграции, предложена авторская периодизация китайской иммиграции в США с учётом социальных, политических и экономических факторов. Выявлены особенности китайской иммиграции в разные периоды времени. Раскрыты, с одной стороны, черты антикитайского движения в США, с другой – формирование китайских кварталов (чайнатаунов) как ответ на неприятие в новых социально-культурных условиях. Показан вклад китайских иммигрантов в развитие США, при этом особое внимание уделено роли китайской диаспоры в экономике, в развитии инфраструктуры, предпринимательства и высоких технологий. Охарактеризована современная китайская диаспора в США, выявлены особенности современной иммиграции китайцев за счёт высококвалифицированных специалистов и студентов как следствие Закона об иммиграции 1990 г.

Ключевые слова: хуацяо, китайские иммигранты, золотая лихорадка, железные дороги, дискриминация, законы об исключении китайцев, чайнатауны, Китай, США.

DOI: 10.31857/S0869587325070051, EDN: FIFNVR

Китайская диаспора – одна из крупнейших в мире, она охватывает миллионы людей, проживающих за пределами исторической родины. Их называют хуацяо (китайский мигрант). Согласно идеям



ПЕТРОВСКАЯ Наталья Евгеньевна – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник ИСК РАН. ЧЕРНЫХ Марина Андреевна – кандидат политических наук, научный сотрудник ИСК РАН.

Мао Цзэдуна, население – базовое конкурентное преимущество и ключевой фактор экономического роста, поэтому Китай активно привлекает своих хуацяо для обеспечения национального присутствия за рубежом и получения денежных переводов [1, с. 115]. США давно стали основным центром притяжения китайских иммигрантов, именно там сосредоточена значительная часть китайской диаспоры (около 30%) [2].

В настоящее время отношения между Китаем и США осложнены политическими и экономическими противоречиями – торговыми войнами, технологическим соперничеством и дипломатическим противостоянием. Однако взаимодействие продолжается, и китайская диаспора вносит в него свой вклад. Именно поэтому комплексный анализ китайской иммиграции в США представляет не только академический интерес, охватывая как историко-экономические аспекты проблемы, так и трансформацию миграционных процессов в условиях глобализации. В настоящей статье предложена

авторская периодизация и новое деление иммиграционных волн с учётом социальных, экономических и политических факторов, влияющих на адаптацию китайцев в США. Предпринята попытка проследить эволюцию диаспоры от низкоквалифицированных рабочих до высококвалифицированных специалистов, студентов и инвесторов, её формирование, интеграцию и влияние на американское общество, что особенно актуально ввиду роста численности китайских иммигрантов и их роли в экономической и культурной жизни страны.

В отечественной и американской литературе история китайской иммиграции в Соединённые Штаты изучена довольно подробно [1–8], в то время как современные аспекты иммиграции, положение диаспоры в первой четверти XXI в. [9] и особенности чайнатаунов [10] до сих пор привлекали меньше внимания.

ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ ПРИЧИНЫ НАЧАЛА КИТАЙСКОЙ ИММИГРАЦИИ В США

Первые китайские иммигранты – Эшинг, Ачун и Аккун из Гуанчжоу (бывший Кантон, провинция Гуандун) прибыли в Балтимор, штат Мэриленд, на корабле “Паллада” 12 августа 1785 г. [11]. Массовая иммиграция во второй половине XIX в. стала результатом внутреннего кризиса в Китае и внешних возможностей в США. Это уникальное явление, которое на протяжении двух столетий формировалось

под влиянием различных исторических, социальных и экономических факторов.

В XIX в. Китай переживал глубокий экономический кризис, спровоцированный внутренними конфликтами, войнами и стихийными бедствиями. Опиумные войны (1839–1842, 1856–1860) подорвали экономику и суверенитет страны, способствуя эмиграции. Российские исследователи отмечают, что “жители Китая были истощены высокими налогами, установленными после поражения в Опиумных войнах Цинского правительства” [3, с. 8]. Тайпинское восстание (1850–1864), унёсшее десятки миллионов жизней и разрушившее хозяйственную инфраструктуру, в сочетании с голодом и высокими налогами вынуждало крестьян искать лучшей доли за границей. Демографический взрыв и нехватка рабочих мест в южных провинциях (Гуандун, Фуцзянь) усиливали миграционные потоки, поддерживаемые семейными и клановыми связями.

Среди внешних факторов эмиграции значимую роль сыграла политика западных держав. После Первой опиумной войны и подписания Нанкинского договора Китай был вынужден открыть порты для иностранной торговли, что способствовало отъезду жителей из страны. Европейские державы привлекали китайских рабочих в свои колонии, а золотая лихорадка в Калифорнии, развитие американской экономики и спрос на дешёвую рабочую силу, особенно при строительстве железных дорог, ускорили приток иммигрантов. В таблице 1 перечислены

Таблица 1. Ключевые акты, повлиявшие на динамику китайской иммиграции в США

Год	Закон	Содержание закона
1790	Закон о натурализации 1790 г. (Nationality Act of 1790)	Закон ограничил право на получение гражданства США только “свободными белыми лицами” с “должными моральными качествами”. Китайские иммигранты были лишены возможности натурализоваться, что закрепило за ними статус “вечных иностранцев”
1868	Берлингеймский договор 1868 г. (Burlingame Treaty of 1868)	Это договор, подписанный между США и Китаем (Цинской империей), который стал важным шагом в регулировании отношений между двумя странами. Договор гарантировал китайцам право свободно иммигрировать и путешествовать в США. Также он способствовал развитию торговых отношений между двумя странами, включая улучшение условий для китайских торговцев
1875	Пейдж-акт 1875 г. (Page Act of 1875)	Закон фактически запретил иммиграцию китайцев в США
1882	Закон об исключении китайцев 1882 г. (Chinese Exclusion Act of 1882)	Закон запретил иммиграцию китайских рабочих на 10 лет
1888	Закон Скотта 1888 г. (Scott Act of 1888)	Закон запретил повторный въезд в США китайским рабочим, даже если они ранее проживали в стране на законных основаниях в течение длительного времени. Многие китайские иммигранты, временно выехавшие из США, не смогли вернуться

Окончание таблицы 1 на стр. 45.

Таблица 1 (окончание)

Год	Закон	Содержание закона
1892	Закон Гири 1892 г. (Geary Act of 1892)	Закон продлил действие Закона об исключении китайцев ещё на 10 лет и ввёл дополнительные ограничения для китайских иммигрантов, включая требование о регистрации и получении специальных удостоверений личности. Китайцы, не имевшие таких документов, могли быть депортированы
1917	Закон об иммиграции 1917 г. (Immigration Act of 1917)	Закон ввёл так называемую азиатскую запретную зону, которая фактически запрещала иммиграцию из азиатских стран, включая Китай. Был введён тест на грамотность
1921	Закон о квотах 1921 г. (Emergency Quota Act of 1921)	Закон установил квоты на иммиграцию, ограничив число иммигрантов из каждой страны 3% от числа лиц той же национальности, проживавших в США по данным переписи 1910 г.
1924	Закон об иммиграции 1924 г. (Immigration Act of 1924)	Квоты были снижены до 2% от числа лиц той же национальности, проживавших в США по данным переписи 1890 г.
1943	Закон об отмене исключения китайцев 1943 г. (Magnuson Act of 1943)	Закон отменил действие Закона об исключении китайцев и разрешил китайскую иммиграцию, а также натурализацию китайских иммигрантов. Однако была установлена символическая квота в 105 виз в год
1945	Закон о военных невестах 1945 г. (War Brides Act of 1945&1946)	Закон разрешил ветеранам и солдатам, служившим в армии США во время Второй мировой войны, привозить в страну жён и детей, независимо от их национальности. Это позволило многим китайкам иммигрировать в США
1952	Закон об иммиграции и гражданстве 1952 г. (Immigration and Nationality Act of 1952)	Закон отменил прямые расовые барьеры для иммиграции. Были установлены новые квоты
1956 – 1965	Программа китайских признаний (Chinese Confession Program, 1956–1965)	Программа была инициирована правительством США с целью выявления китайских иммигрантов, которые незаконно въехали в страну или получили гражданство с использованием поддельных документов. В рамках программы китайским иммигрантам предлагалось добровольно признаться в нарушении закона в обмен на возможность легализации своего статуса. На практике программа часто использовалась для депортаций
1965	Закон об иммиграции и гражданстве 1965 г. (Immigration and Nationality Act of 1965)	Закон отменил систему национальных квот, которая отдавала предпочтение выходцам из стран Западной Европы. Новая система была основана на семейной иммиграции, а также высокопрофессиональной. Это стало отправной точкой массовой иммиграции китайцев в США
1986	Закон о реформе и контроле за иммиграцией 1986 г. (Immigration Reform and Control Act of 1986)	Закон ужесточил контроль за нелегальной иммиграцией, но одновременно предоставил амнистию некоторым категориям нелегальных иммигрантов, включая тех, кто проживал в США с 1982 г. Это коснулось и некоторых китайцев
1990	Закон об иммиграции 1990 г. (Immigration Act of 1990)	Закон увеличил квоты на иммиграцию и ввёл новые категории виз, включая визы для высококвалифицированных специалистов (H-1B) и инвесторов (ЕВ-5). Это способствовало притоку в США китайских студентов, учёных и предпринимателей
2020	Закон о защите американских рабочих 2020 г. (Protecting American Workers Act of 2020)	Закон ужесточил визовую политику, включая ограничения на визы H-1B, что отразилось на китайских специалистах, работающих в США. Были введены ограничения на “родильный туризм”, популярный среди китайцев

Источник: составлено авторами.

важнейшие законы и соглашения, отражающие эволюцию политики в отношении китайской иммиграции – от жёстких ограничений до постепенной либерализации и интеграции в американское общество.

Законы не появляются в вакууме – они отражают конкретные исторические, социальные и политические события и отвечают на вызовы времени.

Каждый акт, будь то ограничительный или либеральный, служит реакцией на актуальные проблемы общества, что ярко видно на примере эволюции иммиграционной политики США в отношении китайских иммигрантов. Таблица 2 содержит авторскую периодизацию китайской иммиграции и цитаты, иллюстрирующие изменения в общественных отношениях.

Таблица 2. Периодизация китайской иммиграции в США

Период	Авторское название	Особенности	Восприятие китайцев в обществе
1785–1849	Время первых	Первые китайские иммигранты в США	
1849–1882	Погоня за возможностями и рост ксенофобских настроений	Первая массовая волна китайских иммигрантов в погоне за золотом. Наём китайских работников для строительства железных дорог. Берлингеймский договор 1868 г. Рост антикитайских настроений в США. Бесправное положение китайцев. Отсутствие возможности натурализоваться. Введение ограничений на китайских иммигрантов. Единственным способом выживания становятся сплочение и создание китайских кварталов. Возникновение первого чайнатауна в Сан-Франциско	“Деградирующие, опасные, необычные и вечные иностранцы, которые не могли ассимилироваться в цивилизованной западной культуре вне зависимости от наличия американского гражданства и продолжительности проживания в США” [7, с. 748]. “Люди, которые построили китайскую стену, смогут построить и железную дорогу” [4, с. 56]. “Тихие, миролюбивые, терпеливые и трудолюбивые работники” [12].
1882–1943	Исключение китайцев	Принятие федеральных законов об исключении китайцев. Лазейка в иммиграционной системе США под названием “сыновья и дочери на бумаге”. Нелегальная иммиграция через Китайскую подпольную железную дорогу	“Хотя изначально китайских иммигрантов приветствовали в Америке, в том числе за их вклад в строительство железных дорог и освоение земель, в стране стала расти убежденность в том, что китайская рабочая сила подрывает стандарты американской рабочей силы” [5, с. 95]. “Они принадлежат к другой расе и совершенно другой цивилизации и не способны ассимилироваться в американском обществе” [7, с. 420].
1943–1965	Лёд тронулся	Потепление отношений США и Китая на фоне союза в ходе Второй мировой войны. Ослабление антикитайских настроений. Закон об отмене исключения китайцев 1943 г. Право на натурализацию. Закон о военных невестах. Китайцы покидают чайнатауны	

Окончание таблицы 2 на стр. 47.

Таблица 2 (окончание)

Период	Авторское название	Особенности	Восприятие китайцев в обществе
1965–1990	Либерализация иммиграции и ренессанс чайнатаунов	Закон об иммиграции и гражданстве 1965 г. Либерализация иммиграции. Американские корпорации охотятся за азиатскими талантами. Стремительный рост численности китайцев в США. Чайнатауны набирают популярность	
1990 – по настоящее время	Иммиграция квалифицированных кадров и студентов	Закон об иммиграции 1990 г. “Парашютные дети” – подростки, отправленные учиться в США. Инвесторы по визе EB-5 и “родильные туры”. Цифровая диаспора. Двойная этническая принадлежность	

Источник: составлено авторами.

Открытие золотых месторождений в США в 1848 г. совпало с экономическим кризисом в южных провинциях Китая, особенно в Гуандуне, что стимулировало иммиграцию в США. Китайцы преодолевали тяжёлый путь через океан. Билет стоил 50–100 долл. (примерно 2–4 тыс. долл. по современным меркам), а путешествие из Гуанчжоу до Сан-Франциско занимало 4–8 недель. Пассажиры занимали места в трюмах, провизия быстро заканчивалась и портилась (рис. 1). Чтобы оставаться конку-

рентоспособными, капитаны кораблей и предприниматели снижали цены, но, чтобы компенсировать денежные потери, перевозили всё больше людей за один раз. Это приводило к вспышкам инфекций и смертям. Несмотря на все трудности, в период золотой лихорадки в Калифорнию прибыли более ста тысяч китайцев [8, с. 415].

Следует иметь в виду, что китайцы не планировали переезжать в США на постоянное место жительства. Рассказы о “золотой горе” поселили в них

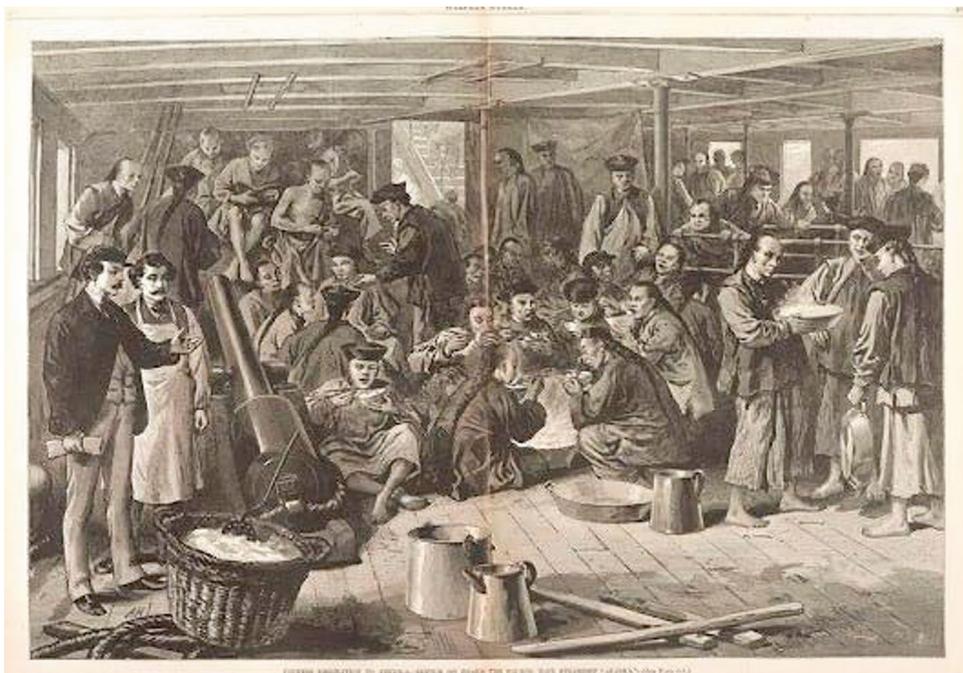


Рис. 1. Переезд китайцев из Гонконга в США по морю на палубе третьего класса. Гравюра конца XIX в. [13]

надежду на то, что они уедут на короткое время, а затем вернуться обеспеченными людьми, имеющими возможность открыть своё дело, купить землю, построить дом, дать хорошее образование детям, иначе говоря достичь всего того, в чём им было отказано по причине их низкого происхождения [4, с. 18]. В Америке “они ощущали себя временными жителями” [6, с. 50]. Китайцы подвергались нападениям белых горняков, поэтому они разработали собственный подход к добыче золота. В отличие от белых шахтёров, действовавших индивидуально или небольшими группами, китайцы объединялись в крупные коллективы, что позволяло им не только эффективно защищаться, но и добывать больше золота благодаря жёсткой дисциплине, что усугубляло антикитайские настроения.

В 1850 г. Калифорния приняла закон, обязывающий каждого иностранного горнодобытчика платить налог в размере 20 долл. в месяц, направленный прежде всего против китайцев. (В то время китайцы составляли самую большую долю небелого населения Калифорнии.) Этот налог стал тяжёлым финансовым бременем: многие иммигранты уехали в отдалённые районы для добычи полезных ископаемых, другие покинули отрасль или вовсе Калифорнию, что негативно сказалось на трудовых ресурсах штата. Кроме того, введение налога обострило межэтнические конфликты. Хотя закон впоследствии отменили, уже в 1852 г. был предложен новый аналогичный законопроект.

В апреле 1852 г. губернатор Калифорнии Дж. Биглер призвал принять закон, ограничивающий дальнейшую китайскую иммиграцию [4, с. 51]. Незавидное положение китайских золотоискателей усугубило решение Верховного суда Калифорнии 1854 г. по делу “Народ штата Калифорния против Джорджа Холла”, согласно которому показания китайского свидетеля, засвидетельствовавшего убийство, которое совершил белый человек, не принимались судом. Это решение, основанное на мнении о низшем расовом статусе китайцев, означало, что преступления белых против китайцев не подлежали судебному преследованию. В 1855 г. в Калифорнии был принят закон, ограничивавший количество иммигрантов, не имевших право на гражданство: капитан или владелец корабля должен был платить налог в размере 50 долл. за каждого высаженного пассажира.

Понятно, что в таких условиях выживание китайцев зависело от их сплочённости, что привело к возникновению в городах китайских кварталов. Первый из них – в Сан-Франциско, затем подобные районы появились и в других городах Калифорнии, а позднее – и в других штатах. Здесь иммигранты находили привычную еду, традиционные храмы, медицинскую помощь, социальную поддержку и работу (рис. 2).

С 1860-х годов под давлением белых американцев Калифорния начала принимать законы против китайцев. В 1860 г. штат ввёл налог на китайских



Рис. 2. Чайнатаун в Нью-Йорке (улица Дойерс-стрит), 1909 г. [14]

рыболовов, а власти Сан-Франциско отказались зачислять китайских детей в школы. В 1875 г. был принят закон, регулировавший размер сетей для ловли креветок, что привело к уменьшению улова, в 1880 г. — закон о рыболовстве, запрещающий китайцам заниматься любым рыболовным бизнесом, в 1862 г. — закон для защиты белых трудящихся от конкуренции с китайцами — каждый китаец старше 18 лет, не занятый в горнодобывающей сфере, производстве риса, сахара, чая, кофе или не имевший собственного бизнеса, должен был платить налог в размере 2,5 долл. в месяц. В 1873 г. власти Сан-Франциско ввели ограничения для китайцев, владевших прачечными, в 1880 г. — закон, запрещающий глажку белья с целью закрытия китайских ночных прачечных.

Когда золотая лихорадка пошла на убыль, многие китайские мужчины участвовали в строительстве первой трансконтинентальной железной дороги (1863–1869) (рис. 3), где к завершению строительства работало 12 тыс. китайских рабочих [15]. Они получали на 30–50% меньше, чем белые, оплачивали своё питание и выполняли самые опасные работы — от прокладки туннелей через Сьерра-Неваду до работы со взрывчаткой [16]. Президент железнодорожной компании Л. Стэнфорд назвал строительство “титаническим трудом”, подчеркнув, что китайцы составляли 90% рабочей силы Центрально-Тихоокеанской железной дороги [17]. Примечательно, что ни один китайский рабочий не был приглашён на открытие железной дороги [18, с. 566], что наглядно продемонстрировало отношение к этой этнической группе в американском обществе того времени. В то же время руководители железных дорог поддерживали рост китайской иммиграции. Один из них писал, что для компа-

нии и штата Калифорния было бы выгодно, если бы в 1868 г. приехало полмиллиона китайцев [4, с. 56–57]. В том же году США и Китай подписали Берлингеймский договор (см. табл. 1), ослабивший иммиграционные ограничения.

К 1870 г. китайцы составляли примерно 10% населения Калифорнии и около 25% рабочей силы штата [8, с. 419], что вызвало рост антикитайских настроений. Белые американцы применяли насилие, участились погромы, линчевания и массовые увольнения китайских рабочих [3, с. 10]. 24 октября 1871 г. разъярённая толпа из 500 белых американцев ворвалась в китайский район Лос-Анджелеса, после того как китаец застрелил белого. Были убиты десятки китайцев.

В 1879 г. сторонники ограничения иммиграции добились принятия Конгрессом закона, в соответствии с которым на одном корабле в страну могли прибыть не более 15 китайцев. Президент Р. Хейс наложил на закон вето, ссылаясь на нарушение договора с Китаем. Эта мера стала ещё одним шагом на пути ограничения иммиграции в США из государств Азии. В 1880 г. президент Хейс добился пересмотра Берлингеймского договора, и в рамках нового Энджелского договора Китай обязался ограничить, но не запретить эмиграцию. В 1882 г. Конгресс принял Акт об исключении китайцев, приостановив иммиграцию китайских рабочих на 10 лет и запретив их натурализацию. Сенатор из Делавэра заявил, что китайцы принадлежат к иной расе и цивилизации и не способны ассимилироваться [8, с. 420]. В 1888 г. был принят Акт Скотта, запрещающий повторный въезд китайских рабочих, а в 1892 г. Законом Гири этот запрет был продлён до 1902 г., были введены новые ограничения (вид на жительство нужно было полу-



Рис. 3. Китайские рабочие на строительстве первой трансконтинентальной железной дороги в США протяжённостью 3069 км [19]

чить в течение года). В 1902 г. закон был продлён на неопределённый срок и оставался в силе до 1943 г.

В период действия указанных законов определённым категориям (торговцам, дипломатам, студентам) разрешался въезд в США, а на некоторое время даже можно было брать с собой членов семей. Это создало лазейку: молодые люди приезжали, выдавая себя за членов семей китайских торговцев или дипломатов (“сыновья и дочери на бумаге”). Любопытный факт: в результате землетрясения в 1906 г. в Сан-Франциско был уничтожен городской архив, в котором хранились данные о жителях, рождённых в городе, что позволило китайцам подделывать документы о рождении в США. В период 1910–1940 гг. в порт в заливе Сан-Франциско прибыли около 175 тыс. китайцев [20]. Кроме того, они нелегально въезжали в США через Китайскую подпольную железную дорогу – секретный маршрут на американо-мексиканской границе¹.

5 февраля 1917 г. Конгресс принял Закон об иммиграции (Закон об азиатской запретной зоне), запретивший въезд на территорию США лиц из любых стран Азии. Был введён тест на грамотность, увеличен налог до 8 долл. для иммигрантов от 16 лет, запрещён въезд лиц с судимостью. В 1921 г. вступил в силу Закон о квотах, позволявший въезжать лишь 3% от числа лиц той же национальности по данным переписи 1910 г. В 1924 г. квоту снизили до 2%, причём относительно не 1910 г., а 1890 г.

Во время Второй мировой войны симпатии к китайцам росли, поскольку они стали жертвами японской агрессии, а китайские иммигранты и американцы китайского происхождения активно участвовали в военных действиях. Китайский квартал Сан-Франциско даже создал школу для подготовки пилотов. В 1943 г. Конгресс принял Закон Магнусона, отменивший исключение китайцев, разрешивший иммиграцию и натурализацию, но установивший квоту в 105 виз в год. В 1945 г. Закон о военных невестах позволил солдатам привозить в страну жён, в 1962 г. специальный закон разрешил иммиграцию нескольких тысяч китайских беженцев из Гонконга, а в 1965 г. Закон об иммиграции и гражданстве фактически положил конец исключению китайцев, отменив систему национальных квот в пользу семейной иммиграции. После принятия Иммиграционного акта 1965 г. въезд китайцев в Соединённые Штаты значительно усилился, изменилась география происхождения мигрантов – помимо Южного Китая (Гуандун), теперь иммигрировали из материкового Китая, Тайваня и Гонконга. Если в 1940 г. китайская община в США насчитывала 106 тыс. человек, то в 1950 г. – 150 тыс., в 1960 г. – 237 тыс., а в 1970 г. – 436 тыс. [21].

¹ Китайская подпольная железная дорога – воображаемый маршрут через приграничную территорию между Соединёнными Штатами и Мексикой, особенно в районе Эль-Пасо, штат Техас.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ КИТАЙСКОЙ ИММИГРАЦИИ В США

С конца 1970-х годов начался новый этап китайской иммиграции в США, связанный с экономическими реформами и политикой “открытых дверей” Дэн Сяопина [1, с. 108–109]. После десятилетий изоляции Китай активно интегрировался в мировую экономику, что привело к росту иммиграции. Зарубежные диаспоры стали важным внешнеполитическим и экономическим ресурсом страны. Экономические реформы 1978 г. способствовали повышению уровня жизни в КНР, но одновременно усилили социальное неравенство: новый класс состоятельных граждан стал инвестировать в зарубежную недвижимость и образование детей, в то время как закрытие неэффективных госпредприятий стимулировало эмиграцию менее обеспеченных граждан.

Политика США также стимулировала рост китайской иммиграции. Иммиграционный закон 1990 г. был направлен на привлечение в страну высококвалифицированных специалистов, студентов и инвесторов. Одним из феноменов этого периода стали “парашютные дети” – подростки, которых отправляли на учёбу в США и которые впоследствии оставались в стране навсегда. Кроме того, программа EB-5 предоставила состоятельным инвесторам, в том числе китайским, возможность получения вида на жительство за вложения в экономику, что привело к значительному росту их экономического присутствия, например, в банковском секторе [9, с. 52]. Получил распространение и “родильный туризм”. С укреплением экономики Китая десятки тысяч женщин ежегодно приезжали в США с целью родить там ребёнка. Их дети становились гражданами США по факту рождения. В 2020 г. при администрации Трампа визовая политика была ужесточена, что сократило масштабы этого явления.

С начала 2000-х годов в США резко увеличилось количество китайских студентов, Китай стал крупнейшим источником иностранной студенческой иммиграции. Многие выпускники оставались работать в США, пополняя ряды высококвалифицированных специалистов, особенно в сфере высоких технологий. Таким образом, студенческая эмиграция явилась не только важным фактором в развитии китайско-американских академических связей, но и значимым каналом пополнения китайской диаспоры в США. Цифровая эпоха изменила характер китайской диаспоры. Платформы WeChat и TikTok стали важными каналами для коммуникации, торговли и культурного обмена: WeChat облегчает финансовые переводы и деловые контакты, а TikTok – популяризацию китайских трендов и укрепление идентичности молодёжи за рубежом.

Современные хуацяо приезжают из мегаполисов вроде Пекина, Шанхая и Шэньчжэня, и их опыт

кардинально отличается от первых переселенцев. Китайские иммигранты прошли большой путь от низкоквалифицированных рабочих, получавших в среднем на 30–50% меньше (примерно 1–1.5 долл. в день), чем их белые коллеги, до одной из самых успешных диаспор в США. Люди азиатского происхождения являются самой высокодоходной группой в этой стране, медианный доход их домохозяйств существенно превышает доходы белых семей, и разрыв продолжает увеличиваться. Если в 1990 г. лаг между доходами белых семей и семьями азиатского происхождения составлял около 15 тыс. долл., то в 2023 г. уже около 28 тыс. долл. и составил почти 113 тыс. долл. в год [22, с. 3].

Несмотря на стереотип о доминировании китайцев в Калифорнии, крупнейшие чайнатауны находятся в Нью-Йорке (549 тыс. человек), Лос-Анджелесе (300 тыс.), Сан-Франциско (180 тыс.), Сан-Хосе (72 тыс.), Гонолулу (53 тыс.), Чикаго (52 тыс.), Сан-Диего (40 тыс.), Филадельфии (36 тыс.), Хьюстоне (33 тыс.), Бостоне и Лас-Вегасе [23]. Нью-Йоркский чайнатаун – крупнейший в США – продолжает расширяться, а старейший в Сан-Франциско (основан в 1848 г.) остаётся важным историческим центром, хотя новые волны иммиграции всё чаще направляются в Техас и на Средний Запад, то есть туда, где растёт экономика и ниже стоимость жизни.

В США нет единой истории китайских кварталов, каждый из них уникален, большинство появилось в 1860-х годах как этнические анклав, некоторые возникли в 1970-х годах. Сегодня они трансформируются в мультикультурные районы, теряя часть традиционного китайского населения из-за усиления ассимиляции и урбанизации, но сохраняя культурное наследие и привлекая туристов (рис. 4).

По данным переписи 2023 г., китайская диаспора в Соединённых Штатах насчитывает свыше 5.6 млн человек, из которых 30% – уроженцы страны, а 70% родом из Китая, Гонконга или Макао. Это девятое место по величине среди диаспор в США, китайцы составляют около 20% всей азиатской популяции [2]. Современная китайская диаспора характеризуется значительной неоднородностью и условно разделяется на три волны. Первая волна (XIX – начало XX в.) – потомки рабочих, прибывших в США в период золотой лихорадки и строительства трансконтинентальной железной дороги. Эта группа в основном сосредоточена в исторических чайнатаунах и сохраняет тесные связи с традиционной китайской культурой. Вторая волна (после 1965 г.) включает высококвалифицированных специалистов, студентов и предпринимателей, прибывших после либерализации иммиграционной политики, что обеспечило их успешную интеграцию в американское общество. Третья волна (конец XX – начало XXI в.) состоит из состоятельных инвесторов, студентов и молодых специалистов, ориентированных на образование и работу в высокотехнологичных секторах. (Представители второй и третьей волн не привязаны к чайнатаунам.)

Китайские иммигранты – это хорошо подготовленная и образованная рабочая сила. В 2023 г. 53% взрослых китайских иммигрантов (в возрасте 25 лет и старше) имели как минимум степень бакалавра, по сравнению с 35% всех иммигрантов и 36% коренных жителей. Кроме того, 31% китайцев имеют учёную степень или профессиональное образование (по сравнению с 16% у всех иммигрантов и 14% у тех, кто родился в США), а среди прибывших в период с 2020 по 2023 г. 61% взрослых имел высшее образование, что существенно превышает общий показатель (46%) [2]. Такой высокий уровень об-



Рис. 4. Чайнатаун в Нью-Йорке, 2024 г. [24]

разования объясняется преобладанием китайских иностранных студентов и высококвалифицированных работников, приехавших в США по визе Н-1В. По данным Института международного образования, в 2023–2024 учебном году свыше 283 тыс. студентов из материкового Китая, Гонконга и Макао обучались в американских вузах, что составляет 25% общего числа иностранных студентов (1.1 млн) [2].

Менталитет хуацяо в США формируется под влиянием традиционных китайских ценностей и американских реалий; ключевыми остаются семейные и клановые связи. Иммигранты первой волны регулярно отправляли деньги семьям в Китае, а современные хуацяо активно вовлекают детей в семейный бизнес и образование. В 2023 г. официальные денежные переводы в Китай, Гонконг и Макао составили около 50 млрд долл. (на 27% меньше, чем в 2019 г. – 68.9 млрд), что эквивалентно 0.3% ВВП материкового Китая [2]. Китайские иммигранты становятся гражданами США с большей вероятностью, чем новоприбывшие в целом. В 2023 г. 55% иммигрантов из Китая получили гражданство, по сравнению с 52% в целом. В 2024 финансовом году 24.3 тыс. китайцев (3% от общего числа натурализованных) стали гражданами, что сделало их седьмой по численности этнической группой в стране [2].

* * *

Китайская иммиграция в США длится на протяжении более чем двухсот лет – от первых рабочих золотых приисков и строителей железных дорог до одной из самых успешных и образованных этнических групп. Китайцы начали осваивать США с конца XVIII в., сталкиваясь с дискриминацией, ксенофобией и правовыми ограничениями. Иммиграционные законы XIX–XX вв., такие как Закон об исключении китайцев (1882) и Закон Гири (1892), фактически перекрывали возможности для натурализации. Ситуация изменилась лишь после Закона об иммиграции 1965 г., что привело к притоку в США из КНР, Гонконга и Макао высококвалифицированных специалистов, студентов и инвесторов.

Китайские иммигранты внесли значительный вклад в развитие американской экономики. Они прошли впечатляющий путь от низкоквалифицированных работников физического труда до сотрудников высокотехнологичных отраслей, где главными ресурсами стали интеллект и инновации.

Этнические анклав (чайнатауны) сыграли ключевую роль в сохранении традиционной культуры и адаптации в условиях дискриминации; в XXI столетии они трансформируются в многофункциональные деловые и культурные центры. Современные китайцы в Америке – это преимущественно образованные специалисты, студенты и предприниматели, успешно вливающиеся в экономику США. Китай-

ская диаспора продолжает динамично развиваться, сохраняя культурную идентичность и адаптируясь к реалиям американского общества, формируя новую модель миграции на основе высококвалифицированных кадров, инвестиций и транснациональных связей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хабирова Р.Р.* История китайской миграции в США и диаспоральная политика КНР // Казанский вестник молодых учёных. 2020. Т. 4. № 1. С. 108–120.
Khabirova R.R. History of Chinese migration to the USA and the PRC's diaspora policy // Kazansky Vestnik Molodykh Uchenykh. 2020, vol. 4, no. 1, pp. 108–120.
2. *Greene M., Batalova J.* Chinese Immigrants in the United States. Migration Policy Institute, January 15, 2025. <https://www.migrationpolicy.org/article/chinese-immigrants-united-states> (date of access 20.01.2025).
3. *Гарусова Л.Н., Журбей Е.В., Владмирова Д.А.* Китайские иммигранты в США: историческая ретроспектива // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2018. № 2(45). С. 8–16. DOI: 10.24866/1998-6785/2018-2/8-16
Garusova L.N., Zhurbey E.V., Vladmirova D.A. Chinese immigrants in the USA: historical retrospective // Oikumena. Regionovedcheskie Issledovaniya. 2018, no. 2(45), pp. 8–16. DOI: 10.24866/1998-6785/2018-2/8-16
4. *Chang I.* The Chinese in America: A Narrative History. Penguin Books, 2004.
5. *Kennedy J.* A Nation of Immigrants. Harper Perennial, 2016.
6. *Кухаренко Н.В.* Особенности антикитайского иммиграционного законодательства США (середина XIX – середина XX вв.) // Известия Восточного института. 2022. № 1. С. 48–57.
Kukharensko N.V. Features of anti-Chinese immigration legislation in the USA (mid-19th – mid-20th centuries) // Izvestiya Vostochnogo Instituta. 2022, no. 1, pp. 48–57.
7. *Wu Sun, Smith, Smith B.W.* (2011). Race, Immigration, and Policing: Chinese Immigrants' Satisfaction with Police // JQ: Justice Quarterly. 2011, no. 28(5), pp. 745–774. DOI: 10.1080/07418825.2010.535009
8. *Mao X.* Institutional Racism: Chinese Immigrants' Encounters in America, 1850–1943 // Open Journal of Social Sciences 10(06), January 2022, pp. 414–424. DOI: 10.4236/jss.2022.106029
9. *Анохина Е.С.* Китайские диаспоры США и Канады и “новая” китайская миграция // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 355. С. 51–54.
Anokhina E.S. Chinese diasporas in the USA and Canada and the “new” Chinese migration // Vestnik

- Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2012, no. 355, pp. 51–54.
10. Riis J. *How The Other Half Lives*. The Belknap Press of Harvard University Press, 2010.
 11. Chinese Americans 1785: Home. Southern Connecticut State University. <https://libguides.southernct.edu/Chinese-Americans> (date of access 10.01.2025).
 12. Chang G. Op-Ed: Remember the Chinese immigrants who built America's first transcontinental railroad // *Los Angeles Times*, May 10, 2019. <https://www.latimes.com/opinion/op-ed/la-oe-chang-transcontinental-railroad-anniversary-chinese-workers-20190510-story.html> (date of access 03.12.2024)
 13. Chinese American History with a focus on immigrant family life experiences // Chinese American Historian. <https://chineseamericanhistorian.blogspot.com/2014/11/what-did-earlychinese-immigrants-get.html> (date of access 15.01.2025).
 14. Doyers Street // Museum of Chinese in America. <https://www.mocanyc.org/collections/stories/doyers-street/> (date of access 15.03.2025).
 15. Chinese Americans and Their Persistence. History and Strategy.org. <https://history-and-strategy.org/chinese-americans-and-their-persistence/> (date of access 12.12.2024).
 16. Chinese Historical Society of America // Bulletin for April, 1969, vol. IV, no. 4. <https://chsa.org/wp-content/uploads/2014/05/CHSA-Bulletin-April-1969-Railroad-Centennial-web.pdf> (date of access 17.01.2025).
 17. Kennedy L. Building the Transcontinental Railroad: How 20,000 Chinese Immigrants Made It Happen // *History*, April 23, 2024. <https://www.history.com/news/transcontinental-railroad-chinese-immigrants> (date of access 28.01.2025).
 18. Изатова Н.Б. Китайско-американские отношения в конце XIX в. – начале XX в. // *Uzbekistan-China: development of historical, cultural, scientific and economic relations*, vol. 3, special issue, pp. 564–570.
Izatova N.B. Sino-American relations in the late 19th – early 20th centuries // Uzbekistan-China: development of historical, cultural, scientific and economic relations, vol. 3, special issue, pp. 564–570.
 19. My journey to claim American citizenship // Cincinnati & Hamilton County Public Library. <https://chpl.org/blogs/post/chinese-railroad-worker-exhibit/> (date of access date of access 18.03.2025).
 20. Growth and Inclusion. Library of Congress. <https://www.loc.gov/classroom-materials/immigration/chinese/growth-and-inclusion/> (date of access date of access 14.01.2025).
 21. Chinese-Americans 1785. Demographics. Southern Connecticut State University. <https://libguides.southernct.edu/c.php?g=15048&p=81577> (date of access 18.01.2025).
 22. Guzman G., Kollar M. Income in the United States: 2023 // U.S. Census Bureau, September 2024. <https://www2.census.gov/library/publications/2024/demo/p60-282.pdf> (date of access 20.01.2025).
 23. American Community Survey (ACS). United States Census Bureau. <https://www.census.gov/programs-surveys/acs> (date of access 17.01.2025).
 24. Chinatown // New York City Public Schools. <https://nyc.eu/boroughs-of-new-york-city/manhattan/chinatown/> (date of access 19.03.2025).

EVOLUTION OF CHINESE IMMIGRATION TO THE U.S.: HISTORICAL AND CONTEMPORARY ASPECTS

N.E. Petrovskaya^{a,*}, M.A. Chernykh^{a,**}

^a*Georgy Arbatov Institute for U.S. and Canada Studies, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

*E-mail: n.petrovskaya@iskran.ru

**E-mail: m.chernykh@iskran.ru

The article is devoted to the evolution of Chinese immigration to the United States in the past and present. The internal and external factors of the first mass wave of Chinese immigration are defined, the author's periodization of Chinese immigration to the United States is proposed taking into account social, political and economic factors. The features of Chinese immigration in different periods of time are revealed. On the one hand, the features of the anti-Chinese movement in the United States, on the other hand, the formation of Chinese quarters (Chinatowns) as a response to rejection in the new socio-cultural conditions are revealed. The contribution of Chinese immigrants to the development of the United States is shown, with special attention paid to the role of the Chinese diaspora in the economy, in the development of infrastructure, entrepreneurship and high technology. The modern Chinese

diaspora in the United States is characterized, and the features of modern Chinese immigration at the expense of highly qualified specialists and students as a consequence of the Immigration Act of 1990 are considered.

Keywords: huaqiao, Chinese immigrants, gold rush, railroads, discrimination, Chinese exclusion laws, Chinatowns, China, USA.

БИОИНЖЕНЕРИЯ РЕКОМБИНАНТНЫХ БЕЛКОВ: ОТ СТРУКТУРЫ К ФУНКЦИИ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

© 2025 г. Д.А. Долгих^{a,b,*}

^aИнститут биоорганической химии имени М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва, Россия

^bМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: dolgikh@nmr.ru

Поступила в редакцию 13.12.2024 г.

После доработки 27.12.2024 г.

Принята к публикации 12.05.2025 г.

Статья посвящена развитию инженерии рекомбинантных белков, прежде всего искусственных белков, или белков *de novo*, — от создания первых белков с заданной пространственной структурой и биологической активностью до современных работ в этой области, в которых широко используются методы машинного обучения и искусственного интеллекта. Применение этих методов, в частности компьютерных платформ Rozetta и AlphaFold, привело к огромному прогрессу в данной области, о чём свидетельствует Нобелевская премия по химии прошлого года. В настоящее время эти методы должны быть рекомендованы для использования в любой современной лаборатории, проводящей работы по физико-химии белков и белковой инженерии.

Статья подготовлена на основе доклада на научной сессии Отделения биологических наук РАН 10 декабря 2024 г.

Ключевые слова: белки, белковая инженерия, структура и функция белков, инженерная биология, искусственный интеллект, AlphaFold.

DOI: 10.31857/S0869587325070063, **EDN:** FIIRKS

Становление и развитие белковой инженерии — относительно новой отрасли науки и технологии — происходило у нас на глазах. Число работ, в которых применяются подходы белковой инженерии, стремительно растёт. Если ввести термин “protein engineering” в поисковую строку базы данных NCBI, получим свыше 30 000 результатов. Очевидно, в коротком обзоре невозможно охватить всё разнообразие этих работ.

В нашей стране очень много лабораторий, в которых ведутся исследования в области белковой ин-

женерии, — они есть практически в каждом институте направления физико-химической биологии. Это и ИБХ РАН, и Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, и Институт биологии гена РАН, Институт белка РАН и многие-многие другие. Я остановлюсь на одном направлении, которое мне особенно близко и, на мой взгляд, наиболее интересно — получении новых белков или “белков *de novo*”, о важности которого свидетельствует Нобелевская премия 2024 г. по химии — я имею в виду работы Д. Бейкера.

Белковая инженерия включает в себя два возможных подхода к получению новых белков — рациональный дизайн и направленную эволюцию. В первом случае конструирование белка опирается на знание его структурно-функциональных свойств, во втором — идёт случайный мутагенез с последующим отбором нужных вариантов. Сочетание этих подходов позволяет эффективно получать новые белки с заданными свойствами.

Современная белковая инженерия может очень многое: это и изменение каталитических свойств ферментов, и изменение структурных свойств бел-



ДОЛГИХ Дмитрий Александрович — доктор биологических наук, профессор, руководитель лаборатории инженерии белка ИБХ РАН, профессор кафедры биоинженерии биофака МГУ.

ков и их функциональных свойств, в том числе, улучшение эффективности белковых лекарственных препаратов. Наконец, это создание совершенно новых белков, или “белков *de novo*”, — направление, которое прямо связано, если говорить в современных терминах, с синтетической биологией биомолекулярных систем. Именно о нём здесь и пойдёт речь.

В этих исследованиях особенно ярко проявляется уровень наших знаний о принципах формирования структуры белковых молекул: если правильно понимать эти принципы, можно создавать белки, обладающие заданной структурой. Задача конструирования таких белков была поставлена на самых ранних этапах развития белковой инженерии. Вначале исследователи пробовали повторять небольшие простые структуры, имеющиеся в природных белках. То есть задачей было придумать такую аминокислотную последовательность белка (первичную структуру), которая приобретёт требуемую вторичную структуру и свернётся в заданную пространственную. Первая успешная работа в этом направлении была выполнена Л. Риган и В. ДеГрадо, которые получили белок *de novo* — тетраспиральный комплекс, состоящий из 4 спиралей, образующих гидрофобное ядро. Получить заданную вторичную структуру было достаточно легко, расположив в соответствующих позициях альфа-образующие аминокислотные остатки и задав расположение перетяжек, а вот обеспечить правильное пространственное расположение спиралей удалось не сразу. Пришлось разбить аминокислотную последовательность на две части, состоящие из двух спиралей (своего рода “шпилька”, одна сторона которой гидрофобная, а другая гидрофильная), закристаллизовать их, посмотреть, как они укладываются в пространстве, и на основе этого подобрать правильное расположе-

ние перетяжки между шпильками. Подобные конструкции на основе природных белков были позднее получены в нескольких лабораториях. Однако более амбициозной задачей было попытаться получить пространственную структуру с такой топологией, которая не наблюдается в природных белках, но не противоречит известным принципам формирования пространственных структур белков.

Первая такая структура, показанная на рисунке 1, была предложена, получена и исследована в нашей работе в “Докладах Академии наук” [1]. Этот белок мы называли альбегетином, так как он состоит из двух повторяющихся элементов альфа-бета-бета. Дизайн этого белка был разработан под руководством О.Б. Птицына, выдающегося учёного, к сожалению, рано ушедшего из жизни.

Дизайн альбегетина включал следующее: использование α - и β -образующих аминокислотных остатков — Leu для α -спиралей (в положениях i , $i+3$, $i+4$, $i+7$) и Val для β -участков (в положениях i , $i+2$, $i+4$); введение разноимённых зарядов на концы α -спиралей (Glu и Asp на N- и Arg на C-конец) для их стабилизации; введение гидрофильных заряженных остатков в крайние β -участки для правильного взаимного расположения β -участков; использование перетяжек минимальной длины между α - и β -участками для предотвращения образования других пространственных структур; использование в перетяжках Pro и Gly, разрушающих α - и β -структуру. Благодаря такому дизайну заданная структура альбегетина, включающая взаимное расположение регуляторных элементов и петельных участков (топология), стала энергетически более выгодной, чем другие возможные топологии. Был синтезирован соответствующий ген, после чего альбегетин удалось наработать в микрограммовых количествах в бесклеточной системе экспрессии, а затем уже в препаративных количествах в *E.coli*.

Исследование альбегетина различными физико-химическими методами показало, что он компактен, стабилен к разворачиванию мочевиной, обладает заданной вторичной структурой и динамикой расщепления трипсином, соответствующей заданной пространственной структуре. В то же время его структура обладает значительной подвижностью, она лабильна, поэтому альбегетин находится в состоянии, которое в природных белках называется состоянием расплавленной глобулы.

Здесь я немного остановлюсь на свойствах этого состояния, тем более что оно было впервые в мире обнаружено и описано в наших работах по альфа-лактальбумину и карбоангидразе. Это состояние наблюдается в присутствии слабоденатурирующих агентов или даже в нативных или близких к нативным условиях, а также во многих белках как промежуточная фаза при их сворачивании. Иначе говоря, это состояние обычно для многих белков и, как мы показали в своей недавней работе в журнале

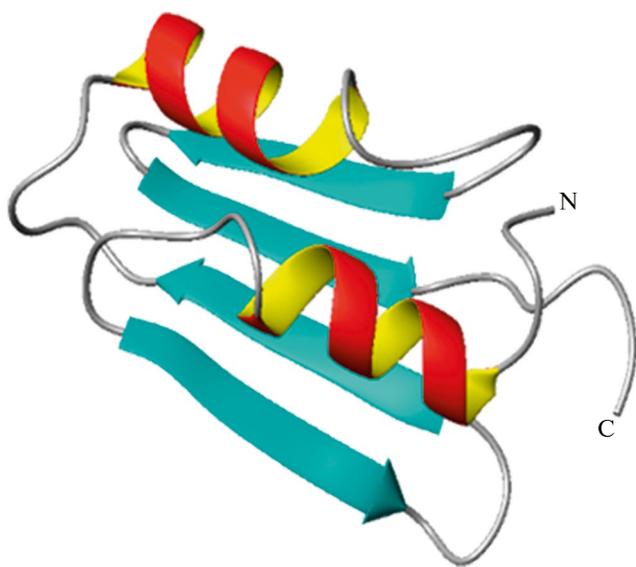


Рис. 1. Заданная пространственная структура искусственного белка альбегетина

“Molecules” [2], является, скорее, правилом, чем исключением. Сейчас для белков (или их фрагментов), находящихся в этом состоянии, широко используется термин “natively unfolded” или “intrinsically disordered”. Такие белки могут приобретать жёсткую структуру при взаимодействии с другими макромолекулами. Поэтому тот факт, что альбумин находится в состоянии расплавленной глобулы, не помешал нам попробовать получить на основе этого белка с заданной пространственной структурой искусственные белки с заданной биологической активностью.

Вначале мы получили альбеферон – искусственный белок с некоторой модельной активностью, добавив на N-конец альбумина фрагмент интерферона альфа-2 (рис. 2а) и показали, что такой белок в полной мере обладает этой заданной модельной активностью – эффективно направляет blast-трансформацию тимоцитов мыши. Таким образом, альбеферон стал первым в мире искусственным белком, на который была привита биологическая активность. Логическим развитием этих работ стало получение подобным образом ряда искусственных белков, обладающих заданной биологической активностью, представляющей медицинский интерес, – противораковой, инсулин-подобной и противовирусной (рис. 2, б–д). При этом в одном случае активность была опосредована не линейным фрагментом, а пространственно-организованным центром интерферона, который моделировался двумя разнесёнными по первичной структуре участками белковой цепи (рис. 2е).

Перейдём от этих первых работ по белкам *de novo* к современным исследованиям в рамках этого направления, за которые была присуждена Нобелев-

ская премия по химии 2024 г. Д. Бейкеру. Единственная работа, прямо упомянутая в пресс-релизе Нобелевского комитета, – получение искусственного белка Top7 с заданной структурой, не встречающейся в природных белках (рис. 3). Структура отличается от нашего альбумина наличием ещё одного бета-стрэнда. Бейкер и его сотрудники использовали при конструировании Top7 разработанную ими программу Rosetta, которая позволяет с высокой точностью рассчитывать энергетические параметры белков, анализировать различные варианты возможных мутаций и таким образом находить оптимальные варианты последовательностей. Они смогли закристаллизовать Top7 и получить точную структуру этого белка, которая, как было показано, соответствует заданной [3]. Но, конечно, Нобелевская премия была получена не только за Top7, а за создание компьютерной платформы Rosetta, позволившей учёным проводить многие подобные работы. Только за последние два года в ведущих журналах опубликованы работы по белкам *de novo* с различными пространственными структурами – это и альфа-структурные белки, и бета-белки, и альфа/бета белки, и бета-бочонки, которые не обнаружены в природных белках.

Чтобы наглядно показать, насколько возрастают возможности белковой инженерии с появлением компьютерных методов, я хочу привести пример антител, точнее, антителомиметиков. Инженерия антител – это наиболее коммерциализированная область белковой инженерии. Очень многие фирмы и лаборатории активно ведут работы в данной области: только в нашей небольшой лаборатории за последние годы получены десятки антител против самых различных антигенов. Но если мы говорим

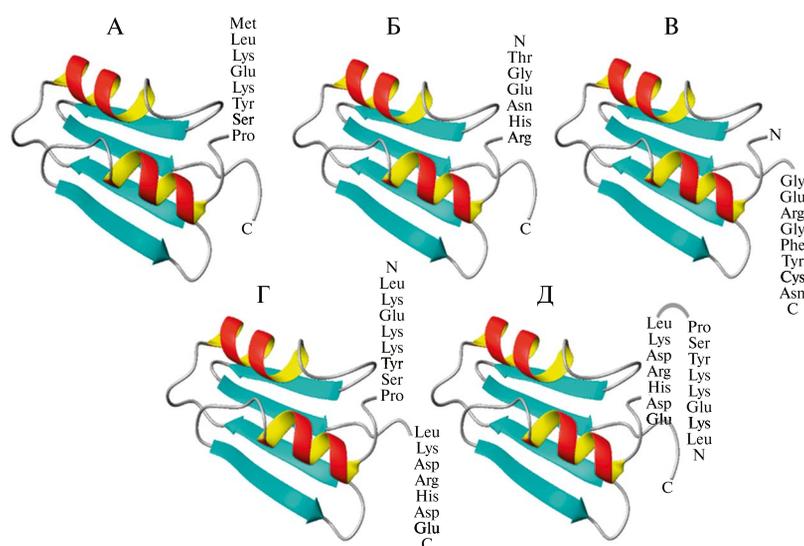


Рис. 2. Искусственные белки на основе альбумина с заданными биологическими активностями: А – blast-трансформирующая активность (альбеферон), Б – противораковая активность, В – инсулин-подобная активность, Г и Д – противовирусная активность



Нобелевская премия по химии 2024



David Baker – "for computational protein design"

"Proteins generally consist of 20 different amino acids, which can be described as life's building blocks... David Baker succeeded in using these blocks to design a new protein that was unlike any other protein. Since then, his research group has produced one imaginative protein creation after another, including proteins that can be used as pharmaceuticals, vaccines, nanomaterials and tiny sensors". (Press release)

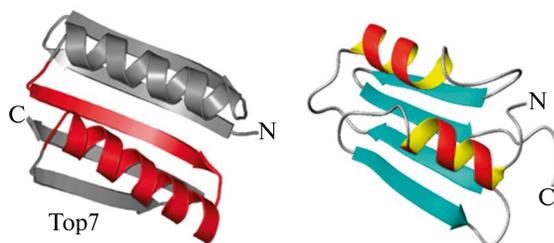


Рис. 3. Из пресс-релиза Нобелевского комитета о присуждении Нобелевской премии по химии 2024 года Дэвиду Бейкеру. Внизу – структура искусственного белка Top7 (слева) и альбумина (справа)

о возможностях направленной доставки эффективных молекул, то вместо антител лучше использовать малые белки/полипептиды – скаффолды, обладающие свойством связываться с антигенами. В ИБХ РАН подобные работы ведут в лабораториях С.М. Деева, А.Г. Габибова, нашей лаборатории и других. Скаффолды, как правило, основаны на природных белках, структура которых может быть похожа на иммуноглобулиновую. Однако использование совершенно новых возможностей для белковых инженеров. Так, Д. Бейкер и его коллеги с помощью разработанной ими платформы Rosetta рассмотрели сотни подобных мини-белковых конформаций, рассчитали более 20 000 последовательностей и показали, что лучшие из них – а лучших десятки – связываются с двумя антигенами с наномолярными константами. Были синтезированы и исследованы 14 самых лучших вариантов и показано, что они стабильны, не теряют активности после нагревания до 70°C или выше, в экспериментах на мышах обладают протективной активностью и неиммуногенны [4]. Можно упомянуть также работу этого года В. ДеГрадо, где с помощью Rosetta проанализированы 75 000 вариантов пептидов, которые, по замыслу, должны связывать амилоиды альфа-синуклеина; в результате найден вариант, который делает это очень эффективно, различая даже конформеры амилоидов [5].

Нельзя не упомянуть ещё одно событие, имеющее прямое отношение к белковой инженерии. Это успешное применение искусственного интеллекта

для определения пространственной структуры белков по первичной структуре – я имею в виду платформу AlphaFold [6]. Вторая половина Нобелевской премии 2024 г. была присуждена сотрудникам компании Google DeepMind Д. Хассабису и Д. Джамперу за использование искусственного интеллекта в данной области. Как сказано в пресс-релизе Нобелевского комитета, они “взломали код белков”. Решена задача, поставленная 50 лет назад: как из первичной структуры белка получить его пространственную структуру. Это действительно достижение нобелевского масштаба: исследователи, занимающиеся белками, получили мощный инструмент, который позволяет вывести работы по физико-химии белков на качественно новый уровень.

Однако означает ли это, что определение структурно-функциональных отношений в белках и белковая инженерия перешли в статус чисто технологических задач? И да, и нет. Очевидно, что эффективное применение искусственного интеллекта стало возможным только после того, как в базах данных было накоплено огромное количество экспериментальных данных о белковых структурах, на основе которых работают методы машинного обучения – до этого такие подходы были если не невозможны, то существенно менее эффективны. В недавней работе А.В. Финкельштейна и Д.Н. Иванкова в “Journal of Molecular Biology” показано, что при меньшем количестве известных белковых структур точность предсказания падает, и это неудивительно, так как фактически искусственный интеллект предсказывает пространственную структуру белков

на основе гомологии с уже имеющимися структурами [7]. Если задать вопрос о том, насколько эти подходы учитывают физические законы формирования белковых структур, ответ очевиден: искусственному интеллекту не нужно знать физические законы — он решает задачу распознавания образов по известным шаблонам. И если в какой-то необычной группе белков число её элементов пока относительно невелико, задача отнесения к этой группе новых белков вряд ли может быть решена такими методами. В работе Д. Чакраварти и Л.Л. Портера [8] показано, что если взять три группы белков, а именно, белки, обладающие единственной нативной структурой, белки, могущие менять структуру в зависимости от условий, и белки неструктурированные, то есть белки/фрагменты белков в состоянии расплавленной глобулы, то, как и следовало ожидать, хуже всего предсказываются структуры последних. Но это несколько не умаляет того вклада, который обеспечило применение искусственного интеллекта, вклада, который важен для всех исследователей, занимающихся белками.

Хотелось бы вспомнить один забавный эпизод, связанный с программой AlphaFold. Программа сейчас очень популярна, и года полтора назад к нам обратился молодой исследователь, использующий AlphaFold2, который прочитал нашу первую статью по альбегетину, взял его аминокислотную последовательность, ввёл в программу и с удивлением увидел, что AlphaFold выдал пространственную структуру искусственного белка, соответствующую заданной. Он не знал, что мы уже получили и исследовали альбегетин и экспериментально подтвердили заданную структуру, поэтому предложил экспрессировать и исследовать наш белок. Мы рассказали ему, что это уже сделано и предложили какие-то другие варианты сотрудничества. К сожалению, его интерес заметно угас, но нам всё равно было приятно, что наши первые работы находят подтверждение в современных методах — значит, мы выбрали правильное направление.

В заключение хочу ещё раз подчеркнуть, что белковая инженерия, зародившаяся сорок лет тому назад, прошла большой путь от первых работ по мутагенезу природных и созданию простых искусственных белков до использования современных

компьютерных программ, позволяющих решать комплексные задачи по созданию сложных белков с заданными полезными свойствами для нужд человека. Мощные компьютерные платформы, в которых используются методы машинного обучения и искусственный интеллект, в последнее время находят самое широкое применение, поднимают белковую инженерию на совершенно новый уровень, и Нобелевская премия по химии 2024 г. свидетельствует о признании выдающегося прогресса в этой научной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгих Д.А., Федоров А.Н., Чемерис В.В. и др. Получение и исследование альбегетина, искусственного белка с заданной пространственной структурой // Доклады АН. 1991. Т. 320. С. 1266–1269. Dolgikh D.A., Fedorov A.N., Chemeris V.V. et al. Production and study of albebetin, an artificial protein with a given spatial structure // Reports of the Academy of Sciences. 1991, vol. 320, pp. 1266–1269.
2. Bychkova V.E., Dolgikh D.A., Balobanov V.A. et al. The Molten Globule State of a Globular Protein in a Cell Is More or Less Frequent Case Rather than an Exception // Molecules. 2022, vol. 27, no. 4361.
3. Kuhlman B., Dantas G., Ireton G.C. et al. Design of a novel globular protein fold with atomic-level accuracy // Science, 2003, v. 302, pp. 1364–1368.
4. Chevalier A., Silva D.-A., Rocklin G.J. et al. Massively parallel de novo protein design for targeted therapeutics // Nature, 2017, vol. 550, pp. 74–79.
5. Wallace H.M., Yang H., Tan S. et al. De novo design of peptides that bind specific conformers of α -synuclein // Chemical Science, 2024, vol. 15, pp. 8414–8421.
6. Jumper J., Evans R., Pritzel A. et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold // Nature, 2021, vol. 596, pp. 583–589.
7. Finkelstein A.V., Ivankov D.N. Protein 3D Structure Identification by AlphaFold: a Physics-Based Prediction or Recognition Using Huge Databases? // Journal of Molecular Biology, 2024, vol. 6, pp. 1–10.
8. Chakravarty D., Porter L.L. AlphaFold2 fails to predict protein fold switching // Protein Science, 2022, vol. 31, e4353.

ENGINEERING RECOMBINANT PROTEINS: FROM STRUCTURE TO FUNCTION AND BIOLOGICAL ACTIVITY

D.A. Dolgikh^{a,b,*}

^a*Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry RAS, Moscow, Russia*

^b*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

**E-mail: dolgikh@nmr.ru*

The article discusses the development of recombinant protein engineering, primarily artificial proteins or *de novo* proteins, from the creation of the first proteins with a given spatial structure and biological activity to modern work in this area, which widely uses machine learning and artificial intelligence methods. The use of these methods, in particular the Rozetta and AlphaFold computer platforms, has led to tremendous progress in this area, as evidenced by last year's Nobel Prize in Chemistry. Currently, these methods should be recommended for use in any modern laboratory conducting work on the physical chemistry of proteins and protein engineering.

The article is based on the author's report at a scientific session of the Division of Biological Sciences of the Russian Academy of Sciences on December 10, 2024.

Keywords: proteins, protein engineering, protein structure and function, engineering biology, artificial intelligence, AlphaFold.

ЦЕНТР АМБУЛАТОРНОЙ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ – ЦЕЛЕВАЯ ОРГАНИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПАЦИЕНТАМ С ОНКОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ НА АМБУЛАТОРНОМ ЭТАПЕ

© 2025 г. И.А. Аксенова^{a,*}, Е.Г. Камкин^{b,**}, Е.В. Каракулина^{b,***},
Н.М. Пиковская^{a,****}, А.А. Кучерявый^{a,*****}, О.В. Ходакова^{a,*****},
О.Ю. Александрова^{c,*****}

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

^bМинистерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

^cНациональный научно-исследовательский институт общественного здоровья им. Н.А. Семашко,
Москва, Россия

*E-mail: 2443632@mail.ru

** E-mail: KamkinEG@minzdrav.gov.ru

***E-mail: karakulinaev@minzdrav.gov.ru

****E-mail: pikovskaya@bk.ru

*****E-mail: arseniy.kuch@yandex.ru

*****E-mail: hodakova.ov@mail.ru

*****E-mail: aou18@mail.ru

Поступила в редакцию 08.10.2024 г.

После доработки 17.01.2025 г.

Принята к публикации 28.03.2025 г.

В России онкологические заболевания занимают второе место в структуре смертности после сердечно-сосудистых патологий. Количество вновь выявленных случаев неуклонно растёт, что связано в первую очередь с увеличением продолжительности жизни населения. В связи с этим важно совершенствовать методы и протоколы оказания медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями, включая диагностику, лечение и дальнейшее диспансерное наблюдение. Одна из ключевых задач системы здравоохранения – обеспечение доступности медицинской помощи, в частности, путём развёртывания сети центров амбулаторной онкологической помощи в регионах.

Ключевые слова: диагностика злокачественных новообразований, центр амбулаторной онкологической помощи, организация медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями, доступность медицинской помощи, онкологическая служба, маршрутизация пациентов с онкологическими заболеваниями.

DOI: 10.31857/S0869587325070072, EDN: FIKDMR

АКСЕНОВА Ирина Алексеевна – кандидат медицинских наук, заместитель руководителя координационного центра ЦНИИОИЗ Минздрава России. КАМКИН Евгений Геннадьевич – кандидат медицинских наук, заместитель министра здравоохранения РФ. КАРАКУЛИНА Екатерина Валерьевна – кандидат медицинских наук, директор Департамента организации медицинской помощи и санаторно-курортного дела Минздрава России. ПИКОВСКАЯ Наталья Михайловна – руководитель координационного центра ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России. КУЧЕРЯВЫЙ Арсений Алексеевич – заместитель директора ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России. ХОДАКОВА Ольга Владимировна – доктор медицинских наук, начальник отдела научных основ организации здравоохранения ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава России. АЛЕКСАНДРОВА Оксана Юрьевна – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе и образованию НИИ общественного здоровья им. Н.А. Семашко.

Россия – крупнейшее государство в мире площадью более 17 млн км² и с населением порядка 146 млн человек. Средняя плотность населения – 8.55 чел./км², однако в различных регионах этот показатель существенно варьирует – от 0.07 чел./км² в Чукотском автономном округе до 5116.82 чел./км² в Москве¹. К этим особенностям добавляется затруднённое транспортное сообщение в ряде регионов, что непосредственно влияет на доступность медицинской помощи, в том числе для пациентов с онкологическими заболеваниями.

В 1945 г. в СССР начали разворачивать сеть медицинских учреждений онкологической службы², с тех пор система оказания медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями непрерывно совершенствуется [1, 2]. К настоящему времени практически во всех субъектах РФ есть онкологические диспансеры (больницы), обеспечивающие необходимый объём специализированной, высокотехнологичной медицинской помощи; эти учреждения подчиняются региональным органам исполнительной власти в сфере охраны здоровья³. Начиная с 1945 г. диагностикой занимались в основном диспансеры. В районных больницах была организована сеть первичных онкологических кабинетов (позднее – отделений), в которых приём осуществлялся врачами-онкологами. Эти кабинеты несли преимущественно административную функцию, перенаправляя пациентов с подозрением на онкологические заболевания в диспансеры, а также обеспечивали их наблюдение после завершения лечения [2]. В течение последних десятилетий наблюдается устойчивый рост заболеваемости, в связи с чем диспансеры оказались перегружены пациентами с подозрением на наличие патологического процесса, перенаправленными из первичных онкологических кабинетов [3].

Централизованная система перенаправления пациентов в диспансеры для проведения диагностики функционировала вплоть до начала 2019 г. К тому времени насчитывалось 2595 первичных онкологических кабинетов и 117 первичных онкологических отделений⁴. Важно отметить, что в 2019 г. начала формироваться качественно новая система оказания первичной специализированной медико-санитарной помощи на базе центров амбу-

латорной онкологической помощи (далее – центры)⁵. С 2019 по 2024 г. на территории России было организовано 569 центров.

Порядок оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях⁶ определяет следующие функции центров:

- диагностика, включая установление распространённости онкологического процесса и его стадии (биопсия, инструментальная и лабораторная диагностика);
- терапия пациентов, в том числе противоопухолевое лекарственное лечение в условиях дневного стационара, выписка рецептов на препараты;
- осуществление диспансерного наблюдения за пациентами с онкологическими и предопухолевыми заболеваниями;
- организационно-методическая работа.

Центр представляет собой структурное подразделение медицинской организации, в котором предусмотрены кабинеты для приёма (консультирования) и дневной стационар (рис. 1). Обязательные требования к медицинским организациям, на базе которых функционируют центры, включают:

- возможность проведения лучевой диагностики, то есть наличие компьютерного томографа, рентгенодиагностического аппарата, маммографа, аппаратов для ультразвукового исследования (данное оборудование используется для выявления всего спектра онкозаболеваний);
- наличие эндоскопического оборудования для обследования верхних и нижних отделов желудочно-кишечного тракта, верхних отделов дыхательной системы (диагностика органов дыхания, пищеварения, а также степени распространённости злокачественных новообразований других локализаций);
- наличие отделения функциональной диагностики и клинично-диагностической лаборатории.

При наличии медицинских показаний пациенты получают возможность консультации у 15 врачей-специалистов. Для выполнения возложенных на центры консультативно-диагностических и методических функций предусмотрена одна штатная должность врача-онколога, ведущего консультативный приём, на каждые 25 тыс. человек взрослого населения, проживающего на обслуживаемой территории, а также одна штатная должность врача-онколога на 10 пациенто-мест дневного стационара. Главные принципы деятельности центров представлены в таблице 1.

¹ Статистический бюллетень Федеральной службы государственной статистики “Численность и миграция населения Российской Федерации в 2023 году”.

² Постановление Совета Народных Комиссаров СССР от 30.04.1945 г. № 935 “О мероприятиях по улучшению онкологической помощи населению”.

³ Форма федерального статистического наблюдения № 47 “Сведения о сети и деятельности медицинских организаций” за 2023 г. по субъектам РФ.

⁴ Форма федерального статистического наблюдения № 30 “Сведения о медицинской организации” за 2018 г. по России.

⁵ Приложение 5 приказа Минздрава России от 15.11.2012 г. № 915н «Об утверждении порядка оказания медицинской помощи взрослому населению по профилю “онкология”» (утратил силу 01.01.2022 г. в связи со вступлением в силу приказа Минздрава России от 19.02.2021 г. № 116н).

⁶ Приложение 5 приказа Минздрава России от 19.02.2021 г. № 116н “Об утверждении порядка оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях”.

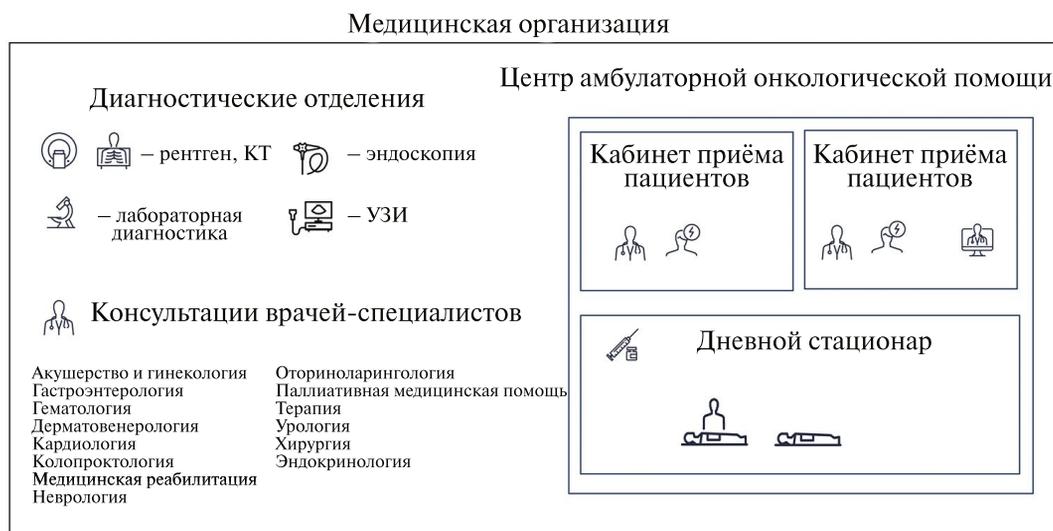


Рис. 1. Требования к медицинской организации, на базе которой создаётся центр амбулаторной онкологической помощи

Таблица 1. Основные принципы работы центров амбулаторной онкологической помощи

Принцип	Характеристика
Доступность и качество оказания медицинской помощи	<ul style="list-style-type: none"> • близко к дому пациента; • транспортная доступность; • кадровая обеспеченность; • оснащение диагностическим медицинским оборудованием; • использование технологий телемедицины; • единые подходы к оказанию медицинской помощи
Соблюдение сроков диагностики, лечения и диспансерного наблюдения	<ul style="list-style-type: none"> • все исследования проводятся в пределах одного медицинского центра; • организация зелёного коридора в ходе диагностики; • отслеживание сроков ожидания в цифровом контуре; • маршрутизация пациентов; • снятие нагрузки с онкологических диспансеров
Соблюдение преемственности в онкологической службе	<ul style="list-style-type: none"> • полное обследование для направления на онкоконсилиум; • лечение по направлению из диспансера; • диспансерное наблюдение в установленные сроки; • маршрутизация пациентов
Взаимодействие с головным онкологическим диспансером и региональными органами исполнительной власти	<ul style="list-style-type: none"> • планирование закупок лекарственных препаратов; • методическая работа совместно с диспансером; • анализ деятельности центров; • совершенствование их работы

Доступность и качество медицинской помощи. Центры оказывают медицинскую помощь исходя из близости к месту жительства, транспортной доступности медицинских организаций для всего населения обслуживаемой территории, наличия необходимого количества медицинских работников, оснащения оборудованием для оказания медицинской помощи с учётом особых потребностей и с применением технологий телемедицины⁷.

⁷ Статья 10 Федерального закона от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ “Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации”.

В соответствии с Порядком оказания медицинской помощи центр обслуживает территории, где проживают не менее 50 тыс. человек взрослого населения⁸, к ним прикрепляются жители нескольких близко расположенных городов и/или районов, имеющих регулярное транспортное сообщение. При обращении пациента с подозрением на онкологическое заболевание врач-онколог организует проведение

⁸ Приложение 5 Приказа Минздрава России от 19.02.2021 г. № 116н “Об утверждении порядка оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях”.

необходимых диагностических исследований (на базе медицинской организации, к которой относится центр), нацеленных на установление степени злокачественности опухолевого процесса, его распространённости и стадии. Врач осуществляет забор материала для биопсии самостоятельно или на базе другого структурного подразделения. Если такой возможности нет, пациент направляется в онкологический диспансер (больницу).

Проведение диагностики в пределах одного здания или комплекса обеспечивает комфортные условия для людей без необходимости обращаться в другие районы города или населённые пункты, что особенно важно для пожилых лиц, пациентов в тяжёлом состоянии, обусловленном заболеванием или сопутствующей патологией, жителей регионов с суровым климатом и плохой транспортной доступностью. Кроме того, сокращаются расходы на оплату проезда. В сложных клинических случаях (невозможность постановки диагноза) врач-онколог может направить цифровые изображения результатов патоморфологических и лучевых исследований, а также биопсийного (операционного) материала в референс-центры⁹, что, несомненно, повышает доступность и качество медицинской помощи. Важно отметить, что после постановки диагноза устанавливается пожизненное диспансерное наблюдение за пациентом, при необходимости — на дому¹⁰. Диспансерное наблюдение также устанавливается за лицами с предопухолевыми заболеваниями с целью лечения/наблюдения предопухолевого процесса и раннего выявления либо предотвращения злокачественных новообразований¹¹.

Технологии телемедицины позволяют врачу-онкологу центра консультироваться с коллегами из головного онкологического учреждения и федеральных медицинских организаций¹², что крайне важно для пациентов, находящихся в тяжёлом состоянии или не имеющих возможности очного посещения больницы. Отметим, что медицинская помощь в России (включая диагностику и лечение) оказывается на основе клинических рекомендаций, разработанных профессиональ-

ми медицинскими сообществами и одобренных Научно-практическим советом Минздрава России¹³. В соответствии с клиническими рекомендациями¹⁴ для различных локализаций опухолей определены перечни диагностических исследований, необходимых для максимально быстрой постановки диагноза. Они служат настольным руководством для врачей-онкологов и играют ключевую роль в оказании качественной медицинской помощи.

Соблюдение сроков диагностики, лечения и диспансерного наблюдения. Работа центров базируется на принципе оказания всего необходимого объёма медицинской помощи в рамках одной медицинской организации. Таким образом, человек с подозрением на наличие заболевания максимально быстро получает терапию. Именно в этом состоит главная задача онкологической службы.

В соответствии с Программой государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи, ежегодно утверждаемой постановлением Правительства РФ, весь перечень диагностических исследований и лечение в полном объёме осуществляются бесплатно. При этом сроки оказания медицинской помощи строго регламентированы:

- проведение консультации врачом-специалистом в случае подозрения на онкологическое заболевание — не более 3 рабочих дней;
- проведение диагностических инструментальных и лабораторных исследований — не более 7 рабочих дней со дня назначения;
- ожидание оказания специализированной медицинской помощи — 7 рабочих дней со дня гистологической верификации опухоли или с момента постановки предварительного диагноза¹⁵.

По сравнению с предыдущей моделью оказания первичной специализированной медико-санитарной помощи, когда врачи первичных онкологических кабинетов при подозрении на наличие заболевания направляли людей напрямую в диспансеры (порой за 500 км и более), сейчас пациент обращается в медицинскую организацию, расположенную существенно ближе к месту его проживания, что говорит о повышении доступности медицинской помощи, сокращает сроки диагностики и стимулирует население к прохождению обследования и лечению. Теперь больные не теряют связь с домом и близкими и максимально быстро

⁹ Пункт 15 приказа Минздрава России от 19.02.2021 г. № 116н “Об утверждении порядка оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях” и приказ Минздрава России от 25.12.2020 г. № 1372 “Об организации функционирования референс-центров иммуногистохимических, патоморфологических и лучевых методов исследований на базе медицинских организаций, подведомственных Минздраву России”.

¹⁰ Приказ Минздрава России от 04.06.2020 г. № 548н “Об утверждении порядка диспансерного наблюдения за взрослыми с онкологическими заболеваниями”.

¹¹ Приказ Минздрава России от 15.03.2022 г. № 168н “Об утверждении порядка проведения диспансерного наблюдения за взрослыми”.

¹² Приказ Минздрава России от 30.11.2017 г. № 965н “Об утверждении порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий”.

¹³ Статья 37 Федерального закона от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ “Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации”.

¹⁴ По состоянию на 1 сентября 2024 г. утверждено 84 клинические рекомендации для оказания медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями.

¹⁵ Постановление Правительства РФ от 28.12.2023 г. № 2353 “О Программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов”.



Рис. 2. Основные изменения в доступности и сроках ожидания медицинской помощи после организации центров амбулаторной онкологической помощи

получают весь спектр медицинских услуг в одном месте амбулаторно (рис. 2).

Маршрут пациентов также становится более доступным и удобным. В настоящее время в пяти субъектах РФ среднее время в пути из самого отдалённого населённого пункта в зоне обслуживания центра составляет в среднем менее 30 мин, в 32 субъектах – 31–60 мин, в 26 субъектах – 61–90 мин и в 20 субъектах – более 90 мин. Наибольшее время, затраченное на прибытие в центр, фиксируется в ряде регионов Дальневосточного и Сибирского федеральных округов¹⁶. Согласно Порядку оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях, региональные органы исполнительной власти должны оптимизировать маршрутизацию по территории своего региона¹⁷. Минздрав России разработал и направил в субъекты РФ методические рекомендации по структуре и наполнению разделов Порядка маршрутизации пациентов с подозрением на онкологические заболевания и пациентов с онкологическими заболеваниями [4]. Данные рекомендации содержат подходы к организации медицинской и паллиативной помощи, а также проведению реабилитации.

Важнейший инструмент контроля и оценки эффективности маршрутизации – мониторинг сроков ожидания больных на каждом этапе. Врач-онколог центра играет здесь ключевую роль как специалист, осуществляющий диспансерное наблюдение. Эффективный мониторинг возможен при наличии в регионе единого цифрового контура – медицинской

информационной системы, которая используется всеми организациями, участвующими в оказании медицинской помощи пациентам с онкологическими заболеваниями.

Соблюдение преемственности в онкологической службе. После уточнения диагноза врач-онколог направляет пациента в онкологический диспансер для проведения обязательного консилиума и утверждения тактики лечения. Полноценное обследование на базе центра, включая биопсию опухоли, играет решающую роль в реализации маршрута “диагностика – онкологический консилиум – лечение”, обеспечивая тем самым преемственность между медицинскими организациями. Это напрямую влияет на эффективность медицинской помощи, повышает выживаемость и обеспечивает высокое качество жизни людей. Более того, полная диагностика при подозрении на злокачественные новообразования позволяет уменьшить поток первичных пациентов в диспансер, а также их повторные визиты и сократить сроки ожидания онкологического консилиума или направления на очередную госпитализацию в структурные подразделения диспансера.

В рамках оказания специализированной медицинской помощи в соответствии с заключением консилиума и рекомендациями врача-онколога центры также проводят лекарственную терапию в условиях дневного стационара¹⁸. Проведение курсового противоопухолевого лечения в непосредственной близости к месту проживания гарантирует соблюдение всех сроков и более комфортно ввиду транспортной доступности. В случае длительного лекарственного лечения (таблетированные формы)

¹⁶ Региональные программы “Борьба с онкологическими заболеваниями”, размещённые на официальных сайтах исполнительных органов субъектов РФ в сфере охраны здоровья.

¹⁷ Пункт 28 приказа Минздрава России от 19.02.2021 г. № 116н “Об утверждении порядка оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях”.

¹⁸ Программа государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи гарантирует не только бесплатную диагностику онкологических заболеваний, но и весь объём необходимого (в том числе высокотехнологичного) лечения: хирургия, лучевая терапия, противоопухолевое лекарственное лечение.

осуществляется выписка рецептов для проведения необходимой терапии на дому, что не нарушает привычный ритм жизни человека (дом, работа, родственники, увлечения и т.д.).

Включение всех медицинских организаций, оказывающих помощь пациентам с онкологическими заболеваниями, в единый цифровой контур позволяет эффективно отслеживать сроки и обеспечивает преемственность на разных этапах, учитывая все данные ранее рекомендации по лечению, динамическому и диспансерному наблюдению, а также сокращает количество повторных диагностических исследований. Врач-онколог формирует индивидуальный план диспансерного наблюдения с учётом рекомендаций специалистов, вынесенных по результатам оказания медицинской помощи¹⁹. При выявлении признаков рецидива и прогрессирования болезни пациент подвергается полной диагностике и направляется в онкологический диспансер.

Взаимодействие с головным онкологическим диспансером и исполнительными органами субъектов РФ. После постановки диагноза врачи-онкологи центров заполняют извещение на случай впервые выявленного злокачественного новообразования и направляют его в организацию, осуществляющую регистрацию таких пациентов. Организационно-методические отделы диспансеров передают первичные данные в государственный раковый регистр²⁰, который, в свою очередь, объединяет всю полученную информацию по региону и участвует в формировании показателей онкологической службы.

Проводится непрерывная совместная методическая работа над запущенными случаями онкологических заболеваний и одногодичной летальности. Результаты деятельности центров оцениваются руководителями региональных органов исполнительной власти через призму следующих показателей:

- организация центра (соответствие штатных должностей Порядку оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях, укомплектованность штатного расписания, количество посещений на одного врача-онколога в день);

- диагностика (процент людей с подозрением на злокачественное новообразование от общего числа пациентов центра, структура выявленных опухолей, в том числе I–II стадии, наличие всего спектра диагностического оборудования, предусмотренного упомянутым порядком, соотношение количества исследований и выявленных новообразований);

¹⁹Пункт 9 приказа Минздрава России от 04.06.2020 г. № 548н “Об утверждении порядка диспансерного наблюдения за взрослыми с онкологическими заболеваниями”.

²⁰Пункт 18 и приложение 32 приказа Минздрава России от 19.02.2021 г. № 116н “Об утверждении порядка оказания медицинской помощи взрослому населению при онкологических заболеваниях”.

- лечение (наличие коек дневного стационара, число госпитализаций, структура диагнозов госпитализированных пациентов, объём использованных препаратов в условиях дневного стационара, выдача рецептов в рамках федеральной и региональной льгот);

- диспансерное наблюдение (оценка контингента, находящегося под диспансерным наблюдением, охват осмотрами).

Такой подход позволяет повысить доступность медицинской помощи для пациентов с онкологическими заболеваниями [5]. Крайне важно регулярно анализировать деятельность центров и совершенствовать её при непосредственном участии заведующего центра, главного врача медицинской организации, в структуру которой входит этот центр, главного внештатного специалиста-онколога региона и руководителя регионального органа исполнительной власти.

Сеть центров, входящих в структуру онкологической службы России, значительно повысила территориальную и транспортную доступность медицинской помощи гражданам с онкологическими заболеваниями, которые теперь могут в установленные сроки получить весь спектр диагностических исследований, направленных на выявление злокачественных новообразований. Таким образом удалось снизить нагрузку на диспансеры и уменьшить поток первичных пациентов. Близкое расположение к месту проживания делает обследование, лечение и диспансерное наблюдение более комфортными и мотивирует людей следить за своим здоровьем. Как следствие, повышаются выживаемость и качество жизни, что особенно важно для тяжёлых и маломобильных больных. Эффективность работы структурных подразделений напрямую зависит от организации системы контроля и регулярной оценки работы центров главными внештатными специалистами и региональными органами исполнительной власти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чиссов В.И., Каприн А.Д., Александрова Л.М., Старинский В.В. 70 лет онкологической службе России. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал НМИРЦ Минздрава России, 2015.
Chissov V.I., Kaprin A.D., Alexandrova L.M., Starinsky V.V. 70 years of the oncological service of Russia. Moscow: P.A. Hertsen Moscow Oncology Research Center, 2015. (In Russ.)
2. Аксенова И.А., Попова Н.В., Старинский В.В., Ходакова О.В. Вехи в истории создания онкологической службы Российской Федерации: анализ предпосылок, значимости и результатов реализации исторического Постановления 1945 года. Обзор архивных материалов в канун 80-летия постановления Совета Народных Комиссаров СССР от 30.04.1945 г. № 935 “О мероприятиях по улучшению

онкологической помощи населению” // Вопросы онкологии. 2024. Т. 70 (4). С. 783–793.

Aksenova I.A., Popova N.V., Starinsky V.V., Khodakova O.V. Milestones in the History of the Establishment of the Oncological Service of the Russian Federation: Analysis of the Prerequisites, Significance and Results of the Implementation of the Historic Decree of 1945. Review of archival materials on the eve of the 80th anniversary of the Decree of the Council of People’s Commissars of the USSR of 30.04.1945 no. 935 “On Measures to Improve the Cancer Care of the Population” // *Voprosy Onkologii*. 2024, vol. 70 (4), pp. 783–793. (In Russ.)

3. *Zaridze D.G., Kaprin A.D., Stilidi I.S.* Динамика заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований в России // Вопросы онкологии. 2018. Т. 64 (5). С. 578–591.

Zaridze D.G., Kaprin A.D., Stilidi I.S. Dynamics of morbidity and mortality from malignant tumors in Russia // *Voprosy Onkologii*. 2018, vol. 64 (5), pp. 578–591. (In Russ.)

4. *Аксенова И.А., Геворкян Т.Г., Гульшина В.А. и др.* Методические рекомендации по структуре и наполнению разделов Порядка маршрутизации пациентов с подозрением на онкологические заболевания и пациентов с онкологическими заболеваниями

на территории субъекта Российской Федерации в рамках реализации территориальной программы государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи. М.: ЦНИИОИЗ Минздрава России, 2023.

Aksenova I.A., Gevorkyan T.G., Gulshina V.A. et al. Methodological recommendations on the structure and content of sections of the Procedure for routing patients with suspected oncological diseases and patients with oncological diseases on the territory of a constituent entity of the Russian Federation as part of the implementation of the territorial program of state guarantees of free medical care to citizens. Moscow: Russian Research Institute of Health, 2023. (In Russ.)

5. *Аксенова И.А., Беляев А.М., Бессонова С.А. и др.* Методические рекомендации по организации центров амбулаторной онкологической помощи в субъектах Российской Федерации / Под ред. Е.В. Каракулиной, В.А. Гульшиной, А.А. Москалева и др. М.: ЦНИИОИЗ Минздрава России, 2023.

Aksenova I.A., Belyaev A.M., Bessonova S.A. et al. Methodological recommendations on the organization of outpatient oncological care centers in the subjects of the Russian Federation / Ed. by E.V. Karakulina, V.A. Gulshina, A.A. Moskaev et al. Moscow: Russian Research Institute of Health, 2023. (In Russ.)

OUTPATIENT ONCOLOGY CENTER – TARGET ORGANIZATIONAL MODEL OF PROVIDING MEDICAL CARE TO CANCER PATIENTS AT THE OUTPATIENT STAGE

I.A. Aksenova^{a,*}, E.G. Kamkin^{b,}, E.V. Karakulina^{b,***}, N.M. Pikovskaya^{a,****},
A.A. Kucheryavy^{a,*****}, O.V. Khodakova^{a,*****}, O.Yu. Aleksandrova^{c,*****}**

^a*Federal Research Institute for Health Organization and Informatics, Moscow, Russia*

^b*Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia*

^c*N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia*

*E-mail: 2443632@mail.ru

**E-mail: KamkinEG@minzdrav.gov.ru

***E-mail: karakulinaev@minzdrav.gov.ru

****E-mail: pikovskaya@bk.ru

*****E-mail: arseniy.kuch@yandex.ru

*****E-mail: hodakova.ov@mail.ru

*****E-mail: aou18@mail.ru

In Russia, oncological diseases occupy the second place in the structure of mortality after cardiovascular pathologies. The number of newly identified cases is steadily increasing, which is primarily due to an increase in the life expectancy of the population. In this regard, it is important to improve the methods and protocols of medical care for patients with cancer, including diagnosis, treatment and further follow-up. One of the key tasks of the healthcare system is to ensure the availability of medical care, in particular, by deploying a network of outpatient cancer care centers in the regions.

Keywords: cancer diagnosis, outpatient oncology center, cancer care, accessibility of health care, oncology service, cancer patient routing.

“ИЗУМИТЕЛЬНЫЙ ДАР НАУЧНОГО ВООБРАЖЕНИЯ И ПРЕДВИДЕНИЯ”
К 180-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПОЧЁТНОГО ЧЛЕНА ИМПЕРАТОРСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК И.И. МЕЧНИКОВА

© 2025 г. Т.И. Ульяновкина^{а,*}

^аИнститут истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, Москва, Россия

*E-mail: tatparis70@gmail.com

Поступила в редакцию 03.04.2025 г.

После доработки 08.04.2025 г.

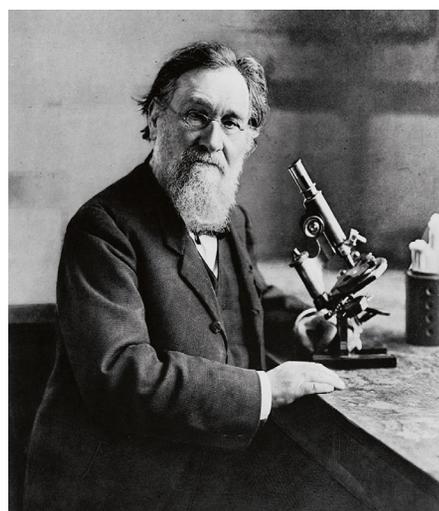
Принята к публикации 30.04.2025 г.

Статья представляет собой краткий обзор биографии и главных научных достижений выдающегося российского учёного, нобелевского лауреата И.И. Мечникова. Большое внимание уделено ранним эмбриологическим (зоологическим) экспериментам и наблюдениям, благодаря которым в 1882–1883 гг. Мечников открыл фундаментальную клеточную реакцию иммунитета – фагоцитоз, а вскоре описал основные элементы сложнейшей иммунной системы животных и человека. В истории науки трудно найти другой пример неожиданного использования результатов, полученных при изучении эмбрионального развития низших животных, для описания механизмов, характерных для организма высших животных и человека. Это поразительное интеллектуальное предвидение и обобщение, основанное на научной интуиции. В историю науки И.И. Мечников вошёл и как организатор и глава самой крупной международной научной школы по иммунологии, бактериологии, инфекционной патологии, антропологии и геронтологии в Институте Пастера в Париже, благодаря которой Институт стал одним из крупнейших научных центров в мире. Статья основана на архивных источниках, в том числе отчётах отдела, которым руководил Мечников в Институте Пастера, за 1900–1912 гг. и из личного фонда И.И. Мечникова (№ 584) в Архиве РАН в Москве, а также на его публикациях за 1889–1916 гг. в журнале “Annales de l’Institut Pasteur” и трудах международных конгрессов того времени.

Ключевые слова: И.И. Мечников, А.О. Ковалевский, зоология, эмбриология, фагоцитоз, иммунная система, Институт Пастера в Париже, Архив РАН.

DOI: 10.31857/S0869587325070084, EDN: FINVLC

Более полутора столетий имя российского зоолога, микробиолога, иммунолога, патолога и геронтолога Ильи Ильича Мечникова (3/15 мая 1845, с. Ивановка Харьковская губ. – 15 июля 1916 г., Париж, Франция) не сходит со страниц мировой печати. На рубеже XIX и XX вв. он был одним из самых ярких представителей естествознания, изменивших развитие европейской и мировой науки, лидеров нового типа, которыми так богата наука второй половины XIX в. Среди них можно упомянуть К. Бернара, Ф. Мажанди, Л. Пастера, Р. Коха, Э. Ру, П. Эрлиха. Мечников был избран действительным и почётным членом огромного числа (свыше 60) российских и зарубежных академий, научных и про-



Илья Ильич Мечников (1845–1916)

УЛЬЯНКИНА Татьяна Ивановна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник ИИЕТ РАН.

фессиональных обществ, в том числе Американской академии искусств и наук в Бостоне (1898), Императорской С.-Петербургской Академии наук (1902), Парижской академии наук (1904), Королевской академии в Турине (1910), Румынской академии (1911), Нью-Йоркской академии наук (1912), Ирландской королевской академии (1912) и др. Вершиной международного признания И.И. Мечникова стало присуждение ему в 1908 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Судьба предопределила И.И. Мечникову стоять у истоков многих научных направлений. С одной стороны, это области исследований, в которых он непосредственно работал, — биология, зоология, эмбриология, бактериология (микробиология), эпидемиология, патология, иммунология, дарвинизм, философия, психоанализ, а также новые направления, которые он создал — эволюционная эмбриология (теория происхождения многоклеточных организмов), сравнительная (эволюционная) биология, сравнительная иммунология, клеточная иммунология, теоретическая иммунология, иммунотомология, сравнительная патология, геронтология, демография, антропология. С другой стороны, это также области исследований, получившие дисциплинарное оформление уже после смерти учёного: неинфекционная иммунология, иммунопатология, иммунология старения, аллергология, трансплантология, иммуногенетика, иммунология эмбриогенеза, иммунология рака, экология тела, этология. С годами наследие Мечникова стало не просто достоянием истории — его идеи продолжают триумфально влиять на развитие отдельных областей современной науки. Примером могут служить исследования онковирусов или исследования микробиоты кишечника, от состава которой зависит течение и развитие таких тяжёлых нейродегенеративных заболеваний, как болезнь Альцгеймера или болезнь Паркинсона.

Огромная биобиблиография (отечественная и зарубежная), освещающая богатое научное наследие великого учёного, позволяет предельно сжато изложить подробности жизненного и научного пути Ильи Ильича, сделав главный акцент на эволюции его открытий в иммунологии.

Илья Ильич Мечников был последним ребёнком в большой дворянской семье гвардейского офицера Ильи Ивановича Мечникова (1810—1878) и дочери еврейского публициста, писателя и философа Иехуды Лейб Бен Ноаха (с 1806 г. — Лев Николаевич Невахович) Эмили Львовны Мечниковой (ур. Невахович; 1814—1879). До него в семье родились сестра Екатерина (1834) и три брата: Иван (1836), Лев (1838) и Николай (1843). Мечников поздно узнал о своем еврейском происхождении и отнесся к этому с большим интересом. Он всегда был очень чувствителен к разным формам проявления антисемитизма в России. В его отделе в Институте Пастера

в Париже работало много учёных-евреев, не получивших признания в России.

Научные способности Мечникова проявились очень рано: в 14 лет он уже в совершенстве овладел немецким языком и мог в подлиннике читать сочинения немецких философов, в 17 лет (1862) опубликовал свою первую статью “Некоторые факты из жизни инфузорий” в журнале “Вестник естественных наук” Московского общества испытателей природы, а в 18 лет написал критическую рецензию “Несколько слов о современной теории происхождения видов” (1863) на книгу Ч. Дарвина “Происхождение видов путём естественного отбора”, в которой отметил недооценку Ч. Дарвином внешних условий существования живых организмов как важного фактора эволюции.

Окончив в 1862 г. Харьковскую гимназию с золотой медалью, Илья Ильич поначалу намеревался поступить на медицинский факультет, но в последний момент, вняв главному аргументу матери “у тебя слишком мягкое сердце; ты не будешь в состоянии постоянно видеть страдания людей” [1, с. 32, 33], он поступил на естественное отделение физико-математического факультета Харьковского университета. Курс Мечников окончил экстерном, за два года (1862—1864). Позже он пожалеет об этом, так как будет ощущать пробел в знаниях по анатомии, бактериологии и патологии.

Летом 1864 г. на личные средства Мечников едет в Германию для подготовки магистерской и докторской диссертаций по зоологии на Биологическую станцию на острове Гельголанд в Северном море. Его исследования были посвящены эмбриологии беспозвоночных животных и насекомых и должны были уточнить эволюционное происхождение некоторых из них (ранее не систематизированных). Владение в совершенстве немецким и французским языками и редкая коммуникабельность позволяли ему быстро налаживать контакты с лучшими интеллектуалами Европы.

В Германии Мечникову представилась возможность стажироваться у мирового лидера в области естественных наук зоолога, паразитолога и систематика из Гиссенского университета Р. Лейкарта (1822—1898). В 1865 г. именно в лаборатории Лейкарта Мечников обнаружит у низших червей планарий (*Geodesmus bilineatus*) отсутствие пищеварительной полости и установит, что акт пищеварения у них осуществляется внутри подвижных клеток мезодермального происхождения, то есть *внутриклеточно*, аналогично тому, как это происходит у одноклеточных (например, инфузорий) и других простейших. Благодаря этому открытию в 1867 г. 20-летний И.И. Мечников сумел обосновать генетическую связь Protozoa с первичными вымершими и ныне живущими Metazoa. Позже он обнаружит внутриклеточный тип пищеварения у подвижных клеток соединительной ткани беспозвоночных и на-

зовёт их *амёбоцитами*. Через семнадцать лет, когда он вновь вернётся к своему раннему “гиссеновскому наблюдению”, на него в буквальном смысле сойдёт озарение, и он сделает открытие, обессмертившее его имя. Речь идёт об открытии *фагоцитоза* – главного клеточного механизма иммунной защиты.

А.О. КОВАЛЕВСКИЙ И И.И. МЕЧНИКОВ

Летом 1865 г. Мечников получил от молодого зоолога-эмбриолога Александра Онуфриевича Ковалевского (1840–1901), с которым был знаком только по публикациям, приглашение поработать с ним в Италии. Там Илья Ильич познакомился с профессором Иваном Михайловичем Сеченовым (1829–1905), проводившим отпуск в Сорренто, и с Николаем Ивановичем Пироговым (1811–1881), руководившим в Министерстве народного просвещения работой молодых учёных, которых посылали за границу для подготовки к профессорскому званию. Именно Пирогов поможет Мечникову продлить его пребывание в Германии, выделив ему двухгодичную стипендию [2, с. 16].

А.О. Ковалевский увлёк Мечникова идеей общности ранних стадий развития позвоночных и беспозвоночных животных на примере ланцетника. “С первой же встречи они почувствовали взаимное родство... Им приходилось жить очень экономно, чтобы продлить своё пребывание до возможных пределов и успеть сделать как можно более наблюдений. Экскурсии и плата рыбакам поглощали немалую часть их скромных средств. Но никакие лишения не пугали их и даже мало ощущались ими – так были они счастливы возможностью удовлетворить свою жажду знания”, – так писала о дружбе молодых учёных О.Н. Мечникова¹ [1, с. 27, 28].

Однако осенью 1865 г. из-за очередной эпидемии холеры Мечников был вынужден покинуть Неаполь и перебраться в Германию, в Гёттинген, где он смог поработать в лабораториях В. Кэфферштейна и Ф. Генле, а также в Мюнхене у К. фон Зибольда. Год спустя Мечников вернулся в Неаполь и продолжил изучать общие механизмы эмбрионального развития организмов, стоящих на разных ступенях эволюции. Анализируя онтогенез каракатицы (*Sepiolo*), относящейся к головоногим моллюскам, Мечников впервые показал наличие зародышевых листков у беспозвоночных, что имело большое научное значение, поскольку подтверждало генетическую связь низших и высших животных. Материал, посвящённый стадиям развития головоногого моллюска, послужил основой магистерской диссертации “История эмбрионального развития *Sepiolo*” [3]. Вскоре ему удалось обнаружить наличие трёх зародышевых листков и у членистоногих (*Arthropoda*). Этому вопросу он посвятил монографию “Embryologische

Studien an Insekten” (Эмбриологические исследования насекомых), изданную в 1866 г. в Лейпциге [4].

В сентябре 1866 г., ещё находясь в Неаполе, Мечников провёл переговоры с администрацией Новороссийского университета в Одессе о возможности принять его на работу на должность доцента. Но вернувшись в Россию после трёхлетнего отсутствия, он прежде всего отправился в Петербург, где была запланирована защита его магистерской диссертации. Ему был 21 год. В начале марта 1867 г. С.-Петербургский университет присудил Мечникову магистерскую степень без экзамена, по совокупности работ в области зоологии. А 26 апреля 1867 г. Илья Ильич был избран доцентом по кафедре зоологии и сравнительной анатомии Новороссийского университета в Одессе. “Получив место штатного доцента в только что учреждённом тогда Одесском университете, я с грустью покинул Петербург, не без тайной надежды вернуться обратно. Это мне удалось несколько месяцев спустя”, – писал он [5, с. 50]. В 1868 г. в С.-Петербургском университете И.И. Мечников защитил докторскую диссертацию, посвящённую ракообразным *Nebalia* [6].

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ЭНТОМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Несмотря на крайне неблагоприятную обстановку, сложившуюся для Мечникова в Новороссийском университете, именно в одесский период ему удалось сделать ряд серьёзных научных открытий в области сравнительной эмбриологии. Прежде всего им была сформулирована теория *паренхимеллы* как раннего и необходимого этапа в развитии всех многоклеточных животных. Он противопоставил её гипотетической *гастрее* Геккеля, которая должна была обладать желудочно-кишечной (или гастральной) полостью, открывающейся наружу blastoporem. В 1886 г. Мечников сменил концепцию *паренхимеллы* на теорию *фагоцителлы*. Согласно ей, исходной формой многоклеточных животных должен быть организм ещё более примитивный, чем *гастрея* Геккеля. Это колониальный тип одноклеточных, похожий на личинку современных низших многоклеточных. Снаружи *фагоцителла* окружена слоем киобласта – поверхностных экзодермальных клеток, а внутренняя её часть заполнена фагоцитобластом – паренхимными клетками, выполняющими функцию внутриклеточного пищеварения. Теория *фагоцителлы* имела выдающееся значение, поскольку устанавливала генеалогические связи в происхождении многоклеточных животных.

В конце 1867 г. выступление И.И. Мечникова на Первом Российском съезде естествоиспытателей о результатах исследования по эмбриогенезу беспозвоночных обратило на себя внимание ректора С.-Петербургского университета Карла Фёдоровича Кесслера (1815–1881), который предложил

¹ Мечникова Ольга Николаевна (урождённая Белокопытова) – вторая жена И.И. Мечникова.

ему место в университете, и 13 мая 1869 г. Мечников зачисляют на должность доцента при кафедре зоологии СПб-университета. Весной 1868 г., добившись заграничной командировки для изучения эволюционного развития беспозвоночных животных, Мечников уезжает в Неаполь, а затем в Мессину, с намерением вновь поработать там вместе с А.О. Ковалевским.

Изучив особенности развития *Coelenterata*, *Nemertina*, *Insecta*, *Echinodermata*, Ковалевский и Мечников стали лидерами в исследовании механизмов эмбрионального развития беспозвоночных животных и заложили основы нового научного направления — *сравнительной (эволюционной) эмбриологии*. Благодаря их блистательным работам по эмбриогенезу, морфологии и систематике низших организмов (губок, медуз, сифонофор, червей, моллюсков, иглокожих, ракообразных) достаточно быстро были решены многие спорные вопросы дарвинизма и систематики животных, построены новые филогенетические схемы, доказано единство происхождения всего животного царства. Молодые учёные работали на морских биологических станциях в Неаполе (1878, 1879), Мессине (1882–1883), Виллафранке (1870–1885; позже — Вильфранш-сюр-Мер) и др., а также в университетских лабораториях Гёттингена и Мюнхена. В 1867 г. Императорская Петербургская академия наук наградила И.И. Мечникова и А.О. Ковалевского “за выдающиеся работы по эмбриологии” недавно учреждённой премией имени К.М. Бэра (1792–1876).

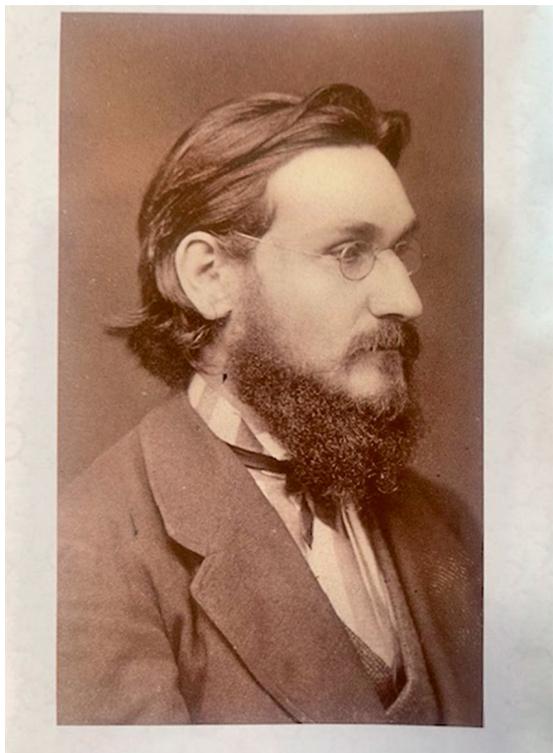
В 1868 г. в Италии у Мечникова неожиданно обострилась болезнь глаз; он отреагировал крайне пессимистически ввиду реальной угрозы потерять возможность заниматься научной работой, которая, по его мнению, “лишь одна способна доставить ему истинное счастье”. В жизни Мечникова началась чёрная полоса. В 1869 г. его забаллотировали на должность ординарного профессора кафедры зоологии Медико-хирургической академии в Петербурге. Тогда его кандидатуру представлял И.М. Сеченов (ординарный профессор кафедры физиологии Медико-хирургической академии), полагавший, что высокий научный авторитет его молодого друга гарантирует его избрание. Мечников принял предложение Сеченова, рассчитывая, что это улучшит его крайне тяжёлое материальное положение. Однако профессора академии побоялись впускать “чужака” Мечникова в свою среду, опасаясь, что молодой талантливый учёный может быстро продвигаться в руководство академией. Голосование напоминало фарс. Сеченов вспоминал: “Вслед за этой подлой комедией меня взяло... такое омерзение и горе, что я заплакал. Хорошо ещё, что успел вовремя закрыть лицо, чтобы не доставить удовольствия окружающим меня лакеям” [7, № 14, с. 53]. Сеченов не счёл возможным далее оставаться в стенах академии и в сентябре 1870 г. подал в от-

ставку. Мечников же, не получив профессорского места в столице, был вынужден вновь обратиться свой взор на российскую провинцию и принял предложение стать ординарным профессором кафедры зоологии и сравнительной анатомии Новороссийского университета в Одессе. Избрание произошло на факультете осенью 1869 г., а 4 января 1870 г. решение было утверждено Советом университета. Одновременно Совет удовлетворил просьбу Мечникова о продлении его заграничной научной командировки до лета 1870 г. Пройдёт немного времени, и 16 января 1871 г. теперь уже И.И. Мечников официально представит И.М. Сеченова на должность экстраординарного профессора в Новороссийском университете в Одессе.

С 1873 г. Илья Ильич — председатель Одесского общества естествоиспытателей. В 1881 г. его избрали почётным членом Русского общества народного здравоохранения и наградили золотой медалью Александра II. В жизни Мечникова, помимо напряжённой работы, были переживания личного характера, на которые уходило много сил и энергии. В 1873 г. он тяжело пережил болезнь и смерть первой жены — Людмилы Васильевны Федорович (1845–1873), племянницы профессора ботаники и будущего ректора СПб.-университета А.Н. Бекетова, скончавшейся у него на руках на о. Мадейра от чахотки на 28 году жизни. Охватившее его отчаяние привело к обострению болезни глаз и первой попытке самоубийства (он принял большую дозу морфина) [1, с. 63].

Студенческие волнения в Новороссийском университете (ноябрь 1881 — февраль 1882 гг.) и обвинения в адрес И.И. Мечникова в подстрекательстве студентов вынудили его 22 мая 1882 г. подать в отставку. В петиции на имя ректора студенты Новороссийского университета писали об уходе Мечникова как “о большом несчастье для университета и науки” [8, с. 137]. А.О. Ковалевский так отозвался на возможность отставки И.И. Мечникова: “Это будет, конечно, ужасным ударом для университета и притом... на руку тем силам, против которых Вы сражались” [9, с. 123]. Однако решение И.И. Мечникова было категоричным: “Я ни под каким видом не вступлю в какие-либо отношения к Новороссийскому университету до тех пор, пока радикально не изменятся условия, сделавшие пребывание в нём до того отвратительным, что воспоминания о нём и теперь вызывают во мне болезненное чувство и дрожь” [10, с. 75–76; 11, с. 90].

Потребность в морском зоологическом материале обязывала И.И. Мечникова проводить много времени на побережье Средиземного моря — в Неаполе, Мессине, Палермо, Триесте, Вильфранш-сюр-Мер, а также на Атлантическом побережье Европы. Женильба учёного на Ольге Николаевне Мечниковой (ур. Белокопытовой; 1858–1944) и получение наследства от тестя Николая Ивановича Белокопытова, скончавшегося весной 1881 г., навсегда изба-



И.И. Мечников. 1875 г.
АРАН. Ф. 584. Оп. 2. Д. 251.

вили Илью Ильича от необходимости бороться за хлеб насущный и позволили ему успешно проводить свои исследования за границей. Мечников стал опекуном семерых братьев и сестёр Ольги Николаевны и вошёл во владение двумя имениями Белокопытовых: Поповкой в Киевской губернии и Красносёлкой на территории современной Черниговской области Украины.

Осенью 1882 г. Мечников с женой и её родными уезжают на полгода на Сицилию, где в г. Ринго (пригород Мессины), в доме с видом на залив, они встречали Рождество. Объектом исследований Ильи Ильича становятся амёбocyты личинок морских звёзд. Размышляя об их побочной роли, помимо участия в пищеварении, он неожиданно приходит к гипотезе об их защитной и “обезвреживающей” роли по отношению ко всем инородным телам, попадающим в организм, включая микробы. В серии последующих работ Мечников показал, что явления, которые он наблюдал в Мессине, можно встретить у всех типов животных, обладающих мезодермальными клетками, развивающимися из промежуточного зародышевого листка – мезодермы. К ним у животных и человека относится кровь, лимфа и соединительная ткань.

Позже амёбовидные по форме “пожирающие” клетки, способные к захвату и перевариванию чужеродных тел, были названы *фагоцитами* (от греч.

phagein – пожирать и *kytos* – клетка). “Мессинский эксперимент” русского учёного признан историческим. Это один из ярких примеров в истории иммунологии, когда открытие учёного (подобно открытию вакцин Пастером) состоялось благодаря “пресловутому случаю” и “подготовленному уму исследователя” [11, с. 129]. И.И. Мечников, склонный к научным парадоксам, не только нашёл в этом эксперименте недостающее звено своей гипотезы о развитии многоклеточных организмов, но одновременно открыл одну из древнейших защитных (иммунных) реакций, сохранившихся в эволюции от простейших организмов до человека и высших животных – реакцию фагоцитоза. “Нужно было обладать изумительным даром научного воображения и предвидения, чтобы из наблюдений над реакцией личинок морской звезды на введённый в неё шип розы, построить теорию, объясняющую самые интимные процессы невосприимчивости человека к заразным болезням”, – так оценил открытие Мечникова выдающийся русский вирусолог Л.А. Зильбер [11, с. 129].

Термин “фагоцит” был подсказан Мечникову для названия его “пожирающих клеток” К. Гроббенем и К. Гейдером – сотрудниками профессора зоологии К. Клауса в Вене, хорошо знавшими греческий язык. Это случилось весной 1883 г., когда Илья Ильич с женой остановились в Вене проездом из Мессины в Россию [12, с. 91]. В современной иммунологии названия “фагоцит”, как и “пожирающая клетка”, не сохранились. К этим клеткам современная иммунология относит нейтрофилы крови, клетки ретикулоэндотелиальной системы и микроглии, способные превращаться в активные макрофаги.

“Мессинский эксперимент” Мечникова стал поворотным в его творчестве. Достаточно быстро явление фагоцитоза было положено им в основу биологической (фагоцитарной, клеточной, целлюлярной) теории иммунитета, а также биологической теории воспаления, биологической теории атрофии и позже биологической теории старения (1897).

В 1887 г. Мечников классифицировал все клетки белой крови по трём большим субпопуляциям: *лимфоциты*, *тканевые макрофаги* (современное название мононуклеарные фагоциты) и *микрофаги* (или полинуклеарные фагоциты, включая нейтрофилы, эозинофилы и базофилы). В отличие от микрофагов, которые всегда нацелены на деструкцию чужеродных веществ, макрофаги участвуют не только в разрушении, но и в созидании, запуская фибропластические процессы и репаративные реакции организма и синтезируя для этого целый комплекс биологически активных веществ. По данным современной иммунологии, это факторы комплемента, индукторы миелопоэза, иммунорегуляторные белки и др. Мечников предсказал и открытие *опсонин* – антител, усиливающих фагоцитоз. Поэтому он активно сопротивлялся оппозиции, противопостав-

лявшей высокую специфичность антител клеточной активности. Его контраргументом стала гипотеза о роли антител как *стимулинов* – веществ, повышающих чувствительность фагоцитов к чужеродным структурам.

Р. Вирхов назвал мечниковское описание фагоцитоза “в высшей степени поразительным экспериментальным наблюдением” [13, с. 252], но в разговоре с И.И. Мечниковым обратил внимание на то, что идея о защитной роли белых клеток крови вряд ли найдёт поддержку в медицинских кругах, поскольку в “патологии предполагают обратное” [14, с. 349]. В те годы к лейкоцитам патологи относились скептически, как к своего рода “безработным”, хотя миграция этих клеток из крови в ткани и очаги повреждения была уже давно описана.

ВОСПАЛЕНИЕ

В своих первых статьях по фагоцитозу, опубликованных в “Трудах Венского зоологического института” и немецком “Биологическом журнале”, Мечников вышел на широкое обобщение открытого им явления и стал уверенно говорить об участии фагоцитоза в таких сложных реакциях организма, как воспаление, инфекция, атрофия, метаморфоз, репарация и регенерация.

Весной 1883 г., вернувшись из-за границы в Россию, Мечников опубликовал статью “Исследования о мезодермальных фагоцитах некоторых позвоночных животных (сравнительно-патологическое исследование о воспалении)”. Он опроверг общепринятый взгляд на природу воспаления, в соответствии с которым последнее зависит от стенок сосудов: “Я скорее готов допустить, что воспаление обусловлено борьбой фагоцитов” [15, т. 5, с. 16]. Продолжая экспериментировать на зоологических объектах, в том числе и на тех низших животных, которые лишены сосудистой и нервной систем, Мечников создал прообраз *первичного воспаления*, на основе которого можно изучать сложный комплекс явлений, характеризующих воспаление у высших животных.

Спустя восемь месяцев со дня своего “мессинского озарения”, на VII съезде русских врачей и естествоиспытателей, проходившем в августе 1883 г. в Одессе, где Мечников председательствовал, в докладе “О целебных силах организма” Илья Ильич сообщил об *открытии фагоцитоза* как древнейшей общебиологической защитной реакции, сохранившейся в эволюции от простейших организмов до высших млекопитающих и человека [16, т. 6, с. 22–29]. Там же он сформулировал программу будущих исследований. К этому времени Мечников – уже признанный крупнейший научный авторитет в области сравнительной эмбриологии. 3 декабря 1883 г. его избрали членом-корреспондентом Императорской Петербургской академии наук по разряду биологи-

ческих наук физико-математического отделения. С 7 декабря 1902 г. И.И. Мечников – почётный член Академии наук.

К сожалению, для названия иммунной системы Мечников использовал неудачную терминологию: “система целебных сил организма”, “фагоцитарная система”, “система органов медицинского или терапевтического пищеварения” и т.п. Трудно было рассчитывать, что медики примут подобные “зоологические” дефиниции. И действительно, они встретили первые описания системы иммунитета с большим недоверием и критикой, хотя Илья Ильич безошибочно точно назвал все органы иммунной защиты. К иммунной системе (“системе целебных сил”) И.И. Мечников отнёс огромную массу мигрирующих по организму бесцветных амёбовидных клеток крови, лимфы и соединительной ткани, обладающих фагоцитарной активностью, а также целые органы и ткани, такие как пищеварительный канал, селезёнка, лимфатические органы и ткани, соединительную ткань, костный мозг, печень, лимфатические железы и отчасти почки. В 1886 г. он дополнил описание системы миндалевидными железами и пейеровыми бляшками, открытыми накануне Дж. Бицоццо и М. Риббертом [12, с. 95–99]. Он не назвал только тимус, иммунная компетенция которого станет ясна лишь в середине XX в.

Мечников угадал главную особенность открытой им системы – её *генерализованный характер*, обусловленный наличием огромного числа специализированных клеток, непрерывно циркулирующих через лимфу, кровотоки, межклеточные пространства, а также *экологическую* особенность системы – тесное взаимодействие её клеток через кожу, пищеварительный тракт и лёгкие с внешним миром. Мечников предугадал *регуляторную* роль нервной системы и гипоталамуса в иммунной защите и тесное их взаимодействие с иммунной системой с помощью *нейромедиаторов* (цитаз). Во всех этих глубоких обобщениях проявился незаурядный ум Мечникова и его опыт блестящего натуралиста.

Собственные эксперименты убедили Мечникова в том, что воспалительная реакция характерна как для беспозвоночных животных, лишённых сосудов и полноценной нервной системы, так и для животных с полноценными системами жизнеобеспечения. В 1886–1887 гг. он напряжённо работал над *сравнительно-патологической* (биологической) теорией воспаления. Воспаление по Мечникову проявляется только в животном мире. У растений оно отсутствует, поскольку их клетки имеют более плотные оболочки. У одноклеточных фагоцитоз представляет только *прототип* воспаления. Эволюционное усложнение иммунной системы, по Мечникову, идёт по пути возникновения специальных железистых органов, лимфатических желёз, селезёнки и т.д. Однако это не означает, что фагоцитоз в растительном мире вообще отсутствует. Как способ питания не-

которых низших растений фагоцитоз был отмечен задолго до Мечникова. В 1909 г. фагоцитоз как защитная реакция у орхидей был описан французским ботаником Н. Бернардом, и Мечников ссылался на его работы в своих поздних трудах [17, 18].

КРИТИКА ФАГОЦИТАРНОЙ ТЕОРИИ

О.Н. Мечникова вспоминала: “Пока Илья Ильич был чистым зоологом, для него научная атмосфера была спокойна и ясна. Но всё сразу изменилось, когда с фагоцитарной теорией он в качестве натуралиста вступил на почву патологии: здесь коренились веками установленные традиции и общепринятые теории, вовсе не основанные на биологии” [1, с. 98].

На рубеже XIX и XX вв. медицина с большим нежеланием и опозданием воспринимала важнейшие биологические открытия XIX в., в том числе эволюционную теорию Ч. Дарвина. Появление в медицинской литературе работ такого крупнейшего эволюциониста и зоолога, как И.И. Мечников с его радикальными взглядами на святая святых патологов — воспаление, оказалось для западноевропейских врачей не только неожиданным, но и было воспринято с большим трудом и раздражением. Мечников не только не был членом сообщества патологов, но даже врачом (ранее химик Л. Пастер столкнулся с той же проблемой), кроме того, он был русским, что, по мнению американского историка иммунологии А. Сильверстайна, означало, что он “был традиционно человеком более отсталым, чем западноевропейские учёные” [19, с. 211]. За вольное обращение с лейкоцитами работы Ильи Ильича на долгие годы были причислены к разряду научной фантастики и демагогии.

Критика Мечникова патологами часто принимала нелюбимую форму. “Восточной сказкой, родившейся в казацкой голове”, оскорбительно назвал в 1888 г. фагоцитарную теорию воспаления один французский гигиенист. Позже, вспоминая о грубой критике со стороны патологов, Илья Ильич писал: “Бывали минуты (помню, например, Любарша в 1889 г. и Пфейфера в 1894 г.), когда я был готов расстаться с жизнью” [1, с. 187].

В 80-х годах XIX в. в общей патологии доминировали две альтернативные теории воспаления, принадлежавшие Р. Вирхову и его ученику Ю. Конгейму. Если Вирхов считал воспаление результатом раздражения и локальной пролиферации паренхиматозных клеток, а гной — продуктом раздражения клеток в очаге воспаления, то Конгейм поставил во главу угла “молекулярное” повреждение стенки сосудов, которое обуславливает пассивную экстравазацию (просачивание) элементов крови и выходение их в очаг воспаления. Отсюда тезис Конгейма, ставший парадигмой патологии, “без сосудов нет воспаления”. Однако, согласно взглядам Мечникова, воспаление представляет собой борьбу клеток —

фагоцитов и чужеродных клеток. Именно такой взгляд заслуживает полное право называться *первой научной теорией воспаления*.

С годами мечниковская теория фагоцитоза получила если не активную поддержку, то доброжелательные отзывы многих французских и британских учёных [20, с. 285]. Конечно же, особенно благосклонно эту теорию встретило русское научное сообщество. Итогом дискуссии Мечникова с патологами о природе воспаления стали “Лекции о сравнительной патологии воспаления” (1892) — систематизированный курс из 12 лекций, прочитанных в апреле-мае 1891 г. в Институте Пастера в Париже, где среди слушателей был и сам Пастер. Двенадцатую лекцию Илья Ильич закончил призывом создать сравнительную патологию и активно применять её данные в медицине.

Вслед за полемикой с патологами в 1888 г. возникли дискуссии с бактериологами и гигиенистами. Это было связано с обнаружением бактерицидных свойств биологических жидкостей организма и оформлением *гуморальной* теории иммунитета. Её сторонники, в числе которых крупнейшие бактериологи Европы Г. Бухнер, Э. Беринг, Р. Кох, К. Френкель, Р. Пфейффер, Р. Эммерих, считали, что иммунитет обусловлен не деятельностью клеток, а бактерицидными свойствами сыворотки крови и других жидкостей организма. Мощной поддержкой гуморальной теории иммунитета стало открытие антиоксического иммунитета, а в 1894 г. — явления бактериального лизиса. Оппозиция противопоставляла фагоцитарной (клеточной) защите высокую специфичность открытых антител — *преципитинов, агглютининов, лизинов* и пр.

Отсутствие выраженной специфичности у фагоцитов по отношению к антигенам, а также отсутствие иммунологической памяти (способности отвечать на повторное введение антигена) создавало впечатление, что такой древнейший механизм защиты, как фагоцитоз, остался в эволюции своего рода атавизмом, неспецифическим механизмом защиты, в то время как гуморальные факторы стали в ходе эволюции важным механизмом адаптивного иммунитета. В ходе полемики учёные получили важные данные, свидетельствующие о взаимной согласованности действия антител и клеток (фагоцитов) в иммунном ответе. Поняв это, Илья Ильич в 1901 г. в фундаментальной монографии “Невосприимчивость к инфекционным болезням” признал эффективность как клеточных, так и гуморальных факторов в образовании приобретённого иммунитета и в своей новой трактовке иммунитета достаточно дипломатично обошёл вопрос о конкретном его механизме. Забегая вперёд, следует сказать, что клеточная (биологическая, фагоцитарная) теория Ильи Мечникова была обречена на успех, поскольку гуморальный иммунитет, бесспорно, основан на жизнедеятельности клеток: все специфические

и неспецифические защитные (антисептические) вещества являются производными клеточного метаболизма. Однако в конце 80-х годов XIX в. эта закономерность ещё не была очевидной.

Огромная заслуга И.И. Мечникова — введение им в науку представления о *естественном иммунитете*, выходящем далеко за границы инфекционной патологии. Именно Мечников следует считать первым автором современной концепции *иммунологического надзора*. Его многочисленные рисунки демонстрируют активность микро- и макрофагов, направленную как на агентов, попавших в организм извне, так и на собственные структуры, ставшие чужеродными. Здесь и явления старческой мышечной атрофии, вызванной “миофагами”, и разрушение костного вещества “остеокластами”, и “поедание” пигментного вещества волос “пигментофагами”, вызывающее поседение волос, и метаморфоз у земноводных, и репарационные явления после ожога, обусловленные образованием разветвлённых соединительнотканых клеток из тканевых фиксированных фагоцитов.

Позже, в Институте Пастера в Париже, Мечников с сотрудниками расшифровали фагоцитоз как интегральный процесс, включающий *хемотаксис, диапедез, аттракцию, эндоцитоз и цитотоксичность*, и даже предложили использовать разные фазы фагоцитоза в качестве диагностических тестов. При этом были выявлены генетические дефекты, связанные с выпадением одной или нескольких фаз фагоцитоза, приводящие к иммунодефицитам.

В 1899—1901 гг. Мечниковым был открыт новый класс антител — *цитотоксины*, активность которых направлена на разрушение клеток, в том числе и собственных (аутоцитотоксины). Введение аутоцитотоксинов нормальным животным позволило получить первую экспериментальную модель одного из тяжёлых аутоиммунных заболеваний — аутоцитотоксического нефрита, описанного русским патологом В.К. Линдеманом в 1900—1901 гг.

Работы по цитотоксическому иммунитету выявили парадоксальный характер иммунных реакций, которые могут не только защищать, но и разрушать собственные структуры организма. Так родилось новое направление в иммунологии — *иммунопатология*, изучающая заболевания, связанные с расстройствами иммунных механизмов. Современной наукой доказано, что цитотоксический механизм лежит в основе патогенеза аутоиммунных и аллергических заболеваний. Подавление цитотоксической активности стало одним из кардинальных направлений современной клинической иммунологии.

ИНСТИТУТ ПАСТЕРА В ПАРИЖЕ

В 1886 г. И.И. Мечников совместно с Н.Ф. Гамалеем (1859—1949) и Я.Ю. Бардахом (1857—1929) основал в Одессе первую в России и вторую в мире

Бактериологическую станцию для борьбы с инфекционными заболеваниями и стал её директором. Здесь готовили вакцины против бешенства и сибирской язвы домашнего скота. Станция финансировалась Одесским городским управлением и Херсонским земством. Её деятельности Мечников вскоре посвятил доклад на VI Международном конгрессе по гигиене и демографии в Вене (Австрия). Однако работы по вакцинопрофилактике вскоре прекратились, поскольку прививки, сделанные овцам в имении херсонского помещика Панкеева, закончились смертью огромного числа животных (3549 овец из 4414 привитых). Поскольку на момент вакцинации Мечников был в отъезде, иск за гибель животных был предъявлен его заместителю Н.Ф. Гамалее. Тем не менее “панкеевская драма” сыграла роль пускового затвора, ускорив отъезд Мечникова из России. В августе 1888 г., накануне отъезда, он отверг престижное предложение принца Александра Петровича Ольденбургского (1844—1932) возглавить новый Бактериологический институт в России на Каменоостровском проспекте Петербурга; ныне это Институт экспериментальной медицины РАН.

Аполитичность Мечникова, его преданность идеалам “чистой” науки стали причиной неприятия им тех устремлений, которыми жили в те годы российские университеты. Начиная с 1887 г. Илья Ильич предпринял ряд попыток найти работу за рубежом. И если посещение немецких лабораторий его разочаровало, то личная встреча в Париже с Луи Пастером вселила в него надежду. Узнав, что в Париже строится здание частного некоммерческого Микробиологического научно-исследовательского института (открыт 14 ноября 1888 г.), Мечников взял на себя смелость просить Пастера о *honorary position* (почётной должности без оклада) и одну-две комнаты в здании института, где бы он мог работать в качестве частного лица. Материальная обеспеченность Мечникова извлекла его от необходимости обсуждать вопрос о жаловании. Более того, приняв во внимание трудности финансирования Института Пастера в первые годы его существования, Илья Ильич ещё многие годы отказывался от оплаты своего труда. Единственным сотрудником его отдела была жена Ольга Николаевна Мечникова. На место заведующих двумя отделами из шести в Институте Пастера были утверждены русские учёные И.И. Мечников и Н.Ф. Гамалеев.

В глазах Пастера Мечников обладал всеми личными качествами, необходимыми для руководителя отдела в новом институте. Это был зрелый учёный с мировым именем, страстной целеустремлённостью, неисчерпаемым запасом идей и огромной эрудицией. “Ваша эрудиция так обширна и безошибочна, что обслуживает весь институт”, — скажет ему заместитель Пастера Эмиль Ру [21, с. 900]. Мечников стал заведующим отделом морфологии низших организмов и сравнительной микробиологии. Под его отдел отвели две комнаты в нижнем этаже левого

крыла института. Должность руководителя отдела свидетельствовала об ответственном административном положении учёного в Институте Пастера, как и о его высоком научном статусе. Как и все заведующие отделами Мечников сохранял за собой право на экспериментальную работу.

С 1889 г. в Институте Пастера начали функционировать Микробиологические курсы (Курсы Ру–Мечникова), предназначенные для повышения квалификации французских врачей в области микробиологии, вирусологии, эпидемиологии, генетики и иммунологии. К чтению лекций и проведению практических занятий Илья Ильич имел самое непосредственное отношение и уже в 1893 г. стал профессором курсов. В 1904 г. Мечникова избрали заместителем директора Института Пастера. Его также ввели в редколлегия журнала “Труды Института Пастера” (“Annales de l’Institut Pasteur”).

Быстрое развитие зарождающейся иммунологии требовало от Мечникова постановки огромного числа экспериментов по исследованию как клеточных, так и гуморальных реакций иммунитета. К их выполнению Мечников привлекал, помимо сотрудников Института Пастера, стажёров из разных стран мира, особенно много их было из России. Это были выпускники университетов Одессы, Санкт-Петербурга, Москвы, Киева, Харькова и других городов, выпускники Военно-медицинской академии, выпускницы Высших женских курсов и Женского медицинского института в Петербурге. Русские стажёры собирали материал для статей и диссертаций, приобретая не только широкий кругозор, но и известность в Европе своими публикациями в “Анналах Института Пастера”. Благодаря Мечникову, в Институте Пастера в Париже сформировалось крупнейшее научное сообщество русских исследователей-эмигрантов, среди них А.М. Безредка, В.А. Хавкин, М.А. Вейнберг, Е.М. Вольман, М.А. Преображенский, С.Н. Виноградский, С.И. Метальников, Л.И. Кепинов, А.Т. Васильев, Н.А. Добровольская-Завадская, А.М. Гелен (ур. Щедрина), Е. Спарроу, В.А. Юревич, П.Н. Грабар, доктора М.А. Волконский, К.А. Туманов, В.А. Шорин, И.И. Манухин, Н.И. Кобзев, К.Э. Вагнер, С.И. Ветренников и другие.

Некоторые русские стажёры, покинув Францию, продолжали развивать идеи и традиции института Пастера в России. В этом списке Н.Ф. Гамалея, Л.А. Тарасевич, Г.Н. Габричевский, И.Г. Савченко, В.М. Исаев, С.В. Коршун, Е.С. Лондон, В.М. Аристовский, Д.К. Заболотный, С.И. Златогоров, В.А. Барыкин, Н.Я. и Ф.Я. Чистовичи. Мечников цитировал их труды в своих работах, корректировал планы их будущих исследований. Он переписывался с такими крупнейшими русскими учёными, как К.А. Тимирязев, И.М. Сеченов, И.П. Павлов, Н.А. Умов, Д.И. Менделеев. Тем не менее в 1907 г. он напишет: “Наука в России переживает продол-

жительный и тяжёлый кризис. На науку не только нет спроса, но она находится в полнейшем заго-не” [22, с. 5].

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

Осенью 1908 г. Ассамблея Каролинского Нобелевского института в Стокгольме (Швеция) присудила премию в области физиологии и медицины двум ярким представителям альтернативного взгляда на природу иммунитета – российскому биологу Илье Ильичу Мечникову и Паулю Эрлиху – немецкому бактериологу, гематологу, иммунохимику и химиотерапевту, директору Королевского Института экспериментальной медицины и Института химиотерапии им. Георга Шпеера во Франкфурте-на-Майне.

Присуждение Нобелевской премии, по-видимому, не стало для Мечникова событием из ряда вон выходящим, о чём свидетельствовал его сдержанный ответ Нобелевскому комитету. В нём он принёс извинения, что не сможет присутствовать на торжествах в Стокгольме: “Относительно торжеств 10 / XII, к моему великому сожалению, я должен буду воздержаться, т.к. это как раз период лекций в Пастеровском институте, где моё присутствие совершенно необходимо”. Он приедет в Стокгольм 10 июня 1909 г., то есть спустя полгода, и прочтёт (на французском языке) лекцию “Современное положение вопроса об иммунитете при заразных болезнях”. Её черновик хранится в Архиве РАН [Ф. 584, оп. 16, л. 86]. Напомню, что правило Нобелевского комитета предусматривает участие короля Швеции в награждении лауреатов Нобелевской премии: выдаче дипломов, медалей и денежных сумм (69 899 шведских крон, или около 97 000 франков в то время). К сожалению, ни в дневниках, ни в воспоминаниях И.И. Мечникова не найдено прямого объяснения сдержанной реакции учёного на приглашение Нобелевского комитета.

Снятие грифа секретности с архивной документации Нобелевского комитета позволило российскому историку А.М. Блоху познакомиться с материалами, касающимися номинирования Ильи Ильича Мечникова [23]. Мечников возглавил список из двух фамилий лауреатов премии 1908 г., хотя по алфавиту первой должна была стоять фамилия Эрлиха. “Тем самым, Каролинский институт отдал пальму первенства русскому учёному, что полностью отвечало его приоритетному вкладу в учение об иммунитете”, – прокомментировал А.М. Блох [23].

В 1891 г. Илья Ильич совершил поездку в Кембридж (Великобритания), где получил диплом и мантию доктора *honoris causa* старейшего университета Европы (основан в 1209 г.) [17, с. 286]. В 1893 г. Президент Франции присвоил Мечникову звание офицера ордена Почётного легиона с вручением Рыцарского креста; в 1896 г. второе награждение сопро-



Фотокопия диплома И.И. Мечникова о присуждении Нобелевской премии. 1908 г. АРАН. Ф. 584. Оп. 2. Д. 148. Л. 1.

вождалось вручением Офицерского креста. В 1895 г. Мечников избран почётным иностранным членом престижного Лондонского королевского общества, существующего с 1662 г. [17, с. 298].

В 1911 г. Мечников организовал и возглавил экспедицию в Калмыцкие степи – в очаги эпидемии чумы и туберкулёза, в которой участвовали сотрудники Института Пастера Э. Бюрне, А. Салимбени и Яманучи, а также русские врачи [2, с. 60, 61].

ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛОРЫ КИШЕЧНИКА МЛЕКОПИТАЮЩИХ И ЧЕЛОВЕКА

После того как в Институте Пастера Мечников выполнил классические исследования по изучению экспериментального сифилиса, брюшного тифа и туберкулёза, он сконцентрировал внимание на вопросах отравления организма ядами микробов, в огромном количестве присутствующих в кишечнике. Он исследовал кишечную флору взрослых, детей и животных и пришёл к мысли, что её активность можно успешно регулировать режимом питания, сводя к минимуму интоксикацию, ведущую к преждевременному старению [23]. И.И. Мечников

обосновал необходимость включения в рацион питания человека множества кисломолочных продуктов, таких как простокваша, заквашенная с использованием болгарской палочки (болгарский йогурт).

ВОПРОСЫ СТАРЕНИЯ И СМЕРТИ. КОНЦЕПЦИЯ ОРТОБИОЗА

И.И. Мечникова заслуженно считают родоначальником научной геронтологии. В отличие от А. Вейсмана, заявлявшего ещё в начале 1880-х годов о “смертности” соматических и “бессмертии” зародышевых (половых) клеток, эксперименты на низших животных, проведённые Мечниковым, показали, что бессмертие присуще многим, а не только зародышевым клеткам низших животных (кольчатые черви, полипы). Однако на более высоких ступенях эволюции свойство быть бессмертным исчезает. Отсюда тезис Мечникова: смерть есть итог эволюции, а не адаптивный процесс, на котором настаивал Вейсман.

В начале XX в. внимание Мечникова стали привлекать механизмы старения и смерти, к решению которых он стремился подойти как биолог и патолог. Результатом стала серия статей, где утверждалось, что старость и смерть человека наступают преждевременно, прежде всего из-за неправильного питания. В своей книге “Этюды оптимизма” (“*Etudes sur la nature humaine: Essai de philosophic optimiste*”), опубликованной в 1903 г., Мечников предсказал наличие в живом организме “биологических часов”, то есть *генетической запрограммированности* индивидуальной продолжительности жизни – границы, за которую вид не может выйти [22].

И.И. Мечников – автор *аутоиммунной концепции старения*, согласно которой главной причиной “самопоедания” макрофагами “благородных элементов тканей” при старческой атрофии являются различия в сроках старения и разнообразные нарушения межклеточных взаимодействий, что и было подтверждено современной наукой.

Несомненно, большой научный интерес представляет концепция *ортобиоза* Мечникова, которую он определял как систему самосовершенствования с целью достижения долгой, деятельной и бодрой старости, приводящей к развитию чувства насыщения жизнью и парадоксального в своей основе желания смерти [22]. Актуальным в жизни человека должна стать гигиена тела, воля и нравственное поведение, для которого необходимо научное образование. “Невежество, – писал И.И. Мечников, – следует отнести к наиболее безнравственным явлениям” [22, с. 244]. И хотя большинство современников Ильи Ильича попало под очарование философских трудов учёного, находя в них кладёзь мудрости и гуманизма, присутствовал и широкий фронт противников – от правых реакционеров до писателя Льва Толстого.

ПОСЛЕДНЯЯ ГЛАВА ЖИЗНИ

Илья Ильич так и не успел до конца разработать теорию ортобиоза – разразившаяся Первая мировая война сделала нелепыми рассуждения учёного о самодостаточной старости и естественной смерти. Институт Пастера был переведён в военное ведомство; стало почти невозможно заниматься экспериментами на животных. Дорогостоящие обезьяны, на которых Мечников ставил эксперименты по сифилису, были убиты ввиду недостатка пищи и возможной осады Парижа. Мечников, неистово веривший в европейскую культуру, не мог примириться с идеей войны в цивилизованном обществе.

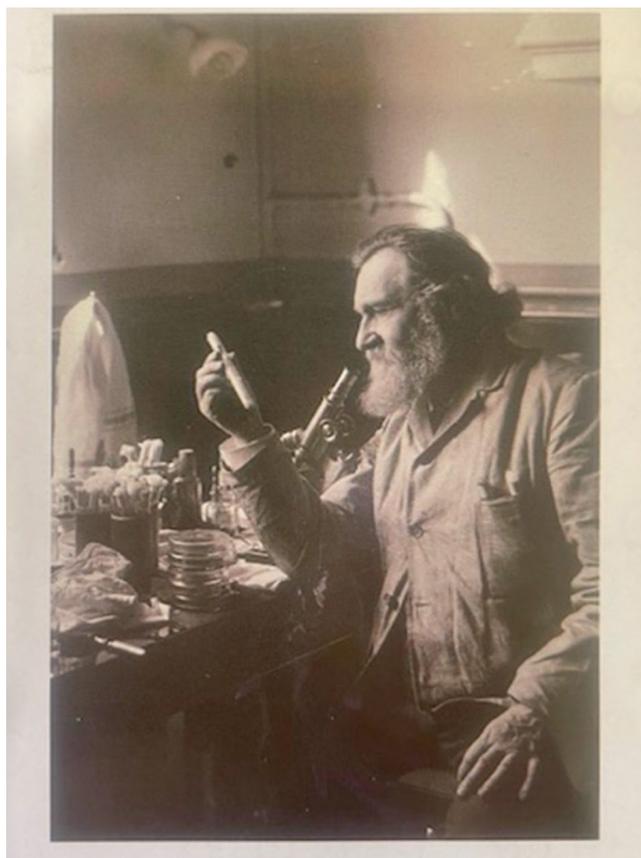
Последние полгода своей жизни Илья Ильич провёл в больнице Института Пастера, куда его в декабре 1915 г. перевезли из Севра. Здесь, сидя в постели (из-за боли в области сердца и сильной отдышки), он какое-то время пытался работать над статьями по истории науки, вопросам пола, проблеме гениальности среди подростков. За месяц до смерти Илью Ильича перенесли в бывшую квартиру Пастера в институте, что доставило ему большое удовольствие, так как он оказался ближе к своей лаборатории. Изредка он ещё надеялся вернуться в неё [1, с. 214]. Мечников просил Ольгу Николаев-

ну записывать “последнюю главу его жизни”, надеясь, что своим отношением к смерти, он сможет уменьшить страх смерти у других людей [1, с. IV]. В начале июня 1916 г. в связи с ухудшением состояния врачи стали вводить Мечникову опийный наркотик. Умер Илья Ильич рано утром 15 июля 1916 г. в 4 часа 20 мин. в возрасте 71 года. Диагноз – миокардит, осложнённый лёгочным инфарктом.

Учёный завещал своё тело для медицинских исследований с последующей кремацией и захоронением на территории Института Пастера, что и было выполнено. Кремация была произведена на кладбище Пер-Лашез, урна с прахом размещена на полке одного из шкафов парадного зала библиотеки Института Пастера. На фасаде здания института установлен барельеф И.И. Мечникова, его именем названа улица в г. Севре (Франция). Вдова И.И. Мечникова – Ольга Николаевна – пережила мужа на много лет: она умерла в возрасте 86 лет 24 июля 1944 г. за несколько недель до освобождения Парижа. При жизни она предприняла большие усилия по сохранению архивного наследия учёного. В 1926 г. по просьбе Л.А. Тарасевича она согласилась передать в Россию часть семейного и научного архива, что и было исполнено. Переданные ею документы (1926 и 1950 гг.) были объединены в фонд личного происхождения И.И. Мечникова в Московском отделении Архива Академии наук СССР (в настоящее время – Архив РАН, фонд № 584). О.Н. Мечникова написала и издала в 1920 г. в Париже прекрасную книгу воспоминаний – “L'avié Elie Metchnikoff”, переведённую на многие европейские языки, в том числе на русский (1926) [1]. Часть архивных документов И.И. Мечникова продолжала храниться в Архиве Института Пастера в Париже (фонд МТС), а также в Музее памяти Мечникова, организованном в 1926 г. в Москве по инициативе Л.А. Тарасевича и О.Н. Мечниковой. Однако ещё в советское время большая часть архива И.И. Мечникова была передана в Музей истории медицины им. Пауля Страдыня в Латвии. В настоящее время – это один из крупнейших музеев медицины в мире.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мечникова О.Н. Жизнь Ильи Ильича Мечникова. М., Л.: Государственное издательство, 1926.
Metchnikov O.N. Life of I.I. Metchnikov M., L.: State Publishing House, 1926. (In Russ.)
2. Ульянкина Т.И. Российский Нобелевский лауреат Илья Ильич Мечников (1845–1916) / Предисловие В.А. Черешнева. М.: Архив РАН, 2017.
Ulyankina T.I. Russian Nobel laureate Ilya Ilyich Mechnikov (1845–1916). Moscow: Archive of the Russian Academy of Sciences, 2017. (In Russ.)
3. Мечников И.И. История эмбрионального развития *Seriola*. Дис. для получения степ. магистра зоологии. СПб.: Тип. Куколь-Яснопольского, 1867.



И.И. Мечников в рабочем кабинете. 1914 г. АРАН. Ф. 584. Оп. 2. Д. 306.

- Metchnikov I.I.* History of embryonic development of Sepiolo. Diss. for obtaining the degree of Master of Zoology. SPb.: Tip. Kukul'-Yasnopolsky, 1867. (In Russ.)
4. *Metchnikoff I.* Embryologische Studien in Insekten. Leipzig: W. Engelmann, 1866.
 5. *Мечников И.И.* Страницы воспоминаний. Сборник автобиографических статей / Под ред. Х.С. Коштойанца. М.: Изд-во АН СССР, 1946.
Metchnikov I.I. Pages of Memories. Collection of Autobiographical Articles / Ed. by H.S. Koshtoyants. Moscow: USSR Academy of Sciences publishing house, 1946. (In Russ.)
 6. *Мечников И.И.* История развития Nodalida: Сравнительно-эмбриологический очерк // Записки Академии наук. 1868. Т. 132. Кн. 1. Прил. 1. С. 1–48.
Metchnikov I.I. History of the development of Nodalida: Comparative-embryological sketch // Notes of the Academy of Sciences. 1868, vol. 132, book 1, appendix 1, pp. 1–48. (In Russ.)
 7. *Мечников И.И.* Борьба за науку в царской России. Неизданные письма И.М. Сеченова, И.И. Мечникова, Л.С. Ценковского и др. М., Л.: Госсозэкон. издат., 1931. С. 53–55.
Mechnikov I.I. Struggle for Science in Tsarist Russia. Unpublished letters of I.M. Sechenov, I.I. Metchnikov, L.S. Tsenkovsky and others. Moscow: Gossoztsekon. publishing house, 1931. P. 53–55. (In Russ.)
 8. Записки Новороссийского ун-та. 1883. Т. 35. С. 139–140. С. 137.
Zapiski Novorossiyskogo un-ta. 1883, vol. 35, pp. 139–140, p. 137. (In Russ.)
 9. Письма А.О. Ковалевского к И.И. Мечникову, 1866–1900 / Под ред. Ю.И. Полянского. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1955.
Letters of A.O. Kovalevsky to I.I. Metchnikov, 1866–1900 / Ed. by Y.I. Polyansky. M., L.: USSR Academy of Sciences publishing house, 1955. (In Russ.)
 10. *Мечников И.И.* Рассказ о том, как и почему я поселился за границей // Мечников И.И. Страницы воспоминаний. Сборник автобиографических статей. М.: Изд-во АН СССР, 1946.
Mechnikov I.I. The story of how and why I settled abroad // *Mechnikov I.I.* Pages of memories. Collection autobiographical articles. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1946. (In Russ.)
 11. *Зильбер Л.А.* Основы иммунитета. М.: Медгиз, 1948.
Zilber L.A. Fundamentals of immunity. Moscow: Medgiz, 1948. (In Russ.)
 12. *Ульянкина Т.И.* Зарождение иммунологии. М.: Наука, 1994.
Ulyankina T.I. Origin of immunology. Moscow: Nauka, 1994. (In Russ.)
 13. *Мечников И.И.* Письма. 1863–1916 / Под ред. А.Е. Гайсиновича, Б.В. Левшина. М. Наука, 1974.
Metchnikoff I.I. Letters. 1863–1916 / Ed. by A.E. Gaisinovich, B.V. Levshin. M. Nauka, 1974. (In Russ.)
 14. *Мечников И.И.* Акад. собр. соч.: в 16 т. М.: Медгиз, 1950–1964. Т. 14. 1959. С. 335–420.
Mechnikov I.I. Acad. collected works: in 16 volumes. Moscow: Medgiz, 1950–1964. Vol. 14. 1959. Pp. 335–420. (In Russ.)
 15. *Мечников И.И.* Акад. собр. соч. в 16 т. М.: Медгиз. Т. 5. С. 16.
Mechnikov I.I. Acad. collected works in 16 volumes. Moscow: Medgiz. Vol. 5. P. 16. (In Russ.)
 16. *Мечников И.И.* Акад. собр. соч. в 16 т. М.: Медгиз. Т. 6. С. 22–29.
Mechnikov I.I. Acad. collected works in 16 volumes. Moscow: Medgiz. Vol. 6. Pp. 22–29. (In Russ.)
 17. *Шабров А.В., Князькин И.В., Марьянович А.Т.* Илья Ильич Мечников // Энциклопедия жизни и творчества. СПб.: DEAN, 2008.
Shabrov A.V., Knyazkin I.V., Maryanovich A.T. Ilya Ilyich Mechnikov // Encyclopedia of life and creativity. St. Petersburg: DEAN, 2008. (In Russ.)
 18. *Мечников И.И.* Акад. собр. соч. в 16 т. М.: Медгиз. Т. 14. С. 145.
Mechnikov I.I. Acad. collected works in 16 volumes. Moscow: Medgiz. Vol. 14. P. 145. (In Russ.)
 19. *Silverstein A.M.* History of immunology. San Diego: Acad. Press. 1989.
 20. *Ру Э.* Письмо. Париж, 15.V.1915 г. // Природа. 1916. Июль–август. С. 900–905.
Roux E. Letter. Paris, 15.V.1915 // *Priroda.* 1916, July–August, pp. 900–905. (In Russ.)
 21. *Колотилова Н.С.* Микробиологические курсы в Институте Пастера: преподаватели и слушатели из России // Российские биологи в Институте Пастера. Научный каталог выставки. М.: Архив РАН, 2010. С. 46.
Kolotilova N.S. Microbiology courses at the Pasteur Institute: teachers and students from Russia // *Russian biologists at the Pasteur Institute.* Scientific catalogue of the exhibition. Moscow: Archives of the Russian Academy of Sciences, 2010, p. 46. (In Russ.)
 22. *Мечников И.И.* Этюды оптимизма / Послесловие и примечание А.А. Тишкова. М.: Наука, 1987.
Mechnikov I.I. Etudes of optimism / Afterword and note by A.A. Tishkov. Moscow: Nauka, 1987. (In Russ.)
 23. *Ульянкина Т.И., Петров Р.В.* Институт Пастера в Париже и русская эмиграция. 1917–1940 // Культурное наследие российской эмиграции: 1917–1940. В 2-х кн. Кн.1. М.: Наследие, 1994. С. 310–324.
Ulyankina T.I., Petrov R.V. Pasteur Institute in Paris and Russian emigration. 1917-1940 // *Cultural Heritage of the Russian Emigration: 1917–1940.* In 2 books. Book 1. M: Heritage, 1994. Pp. 310–324. (In Russ.)

**“THE AMAZING GIFT OF SCIENTIFIC IMAGINATION
AND FORESIGHT”**

*TO THE 180th ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF THE HONORARY MEMBER
OF THE IMPERIAL ACADEMY OF SCIENCES I.I. MECHNIKOV*

T.I. Ulyankina^{a,*}

*^aS.I. Vavilov Institute for the History of Natural Science and Technology of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

**E-mail: tatparis70@gmail.com*

The article is a brief overview of the biography and main scientific achievements of the outstanding Russian scientist, Nobel laureate I.I. Mechnikov. Much attention is paid to the early embryological (zoological) experiments and observations, thanks to which in 1882–1883 Mechnikov discovered the fundamental cellular immune response - phagocytosis, and soon described the main elements of the complex immune system of animals and humans. It is difficult to find another example in the history of science of the unexpected use of the results obtained in the study of the embryonic development of lower animals to describe the mechanisms characteristic of the organism of higher animals and humans. This is an amazing intellectual foresight and generalization based on scientific intuition. I.I. Mechnikov entered the history of science as the organizer and head of the largest international scientific school in immunology, bacteriology, infectious pathology, anthropology and gerontology at the Pasteur Institute in Paris, thanks to which the Institute became one of the largest scientific centers in the world. The article is based on archival sources, including reports of the department headed by Mechnikov at the Pasteur Institute for 1900–1912 and from the personal collection of I.I. Mechnikov (No. 584) in the Archives of the Russian Academy of Sciences in Moscow, as well as his publications for 1889–1916 in the journal “Annales de l’Institut Pasteur” and the proceedings of international congresses of that time.

Keywords: I.I. Mechnikov, A.O. Kovalevsky, zoology, embryology, phagocytosis, immune system, Pasteur Institute in Paris, Archives of the Russian Academy of Sciences.

МАТЕМАТИКА, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И НАЦИОНАЛЬНАЯ ИДЕЯ

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Г.И. МАРЧУКА

© 2025 г. В.П. Ильин^{а,*}

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

*E-mail: ilin@sscc.ru

Поступила в редакцию 24.04.2025 г.

После доработки 12.05.2025 г.

Принята к публикации 20.05.2025 г.

Гурий Иванович Марчук, выдающийся советский и российский учёный в области вычислительной математики, физики атмосферы и геофизики, организатор науки. Его творческое наследие включает более 20 монографий и 600 научных статей по вычислительной математике, физике атмосферы и океана, ядерной энергетике, иммунологии и другим направлениям. Он создал и возглавил математический отдел в Физико-энергетическом институте (г. Обнинск), Вычислительный центр Сибирского отделения Академии наук СССР в Новосибирском Академгородке, Институт вычислительной математики РАН в Москве, которые превратились в научные школы мирового уровня. В 1975 г. Г.И. Марчук стал преемником М.А. Лаврентьева в должности председателя Сибирского отделения АН СССР, на которой он внёс значительный вклад в создание программы “Сибирь”.

В 1980 г. Г.И. Марчук был назначен на должность председателя Государственного комитета СССР по науке и технике в ранге заместителя Председателя Совета Министров СССР, а в 1986 г. он был избран Президентом Академии наук СССР. На этом посту он укрепил связи академических структур с производственными предприятиями и министерствами, что существенно повысило роль науки в выполнении государственных программ. Однако драматические события начала 1990-х годов привели к реорганизации Академии наук СССР в Российскую академию наук, что побудило Г.И. Марчука выступить на Общем собрании РАН в декабре 1991 г. с речью, в которой он в присутствии Б.Н. Ельцина предрёк трагические последствия радикальной демократизации, выразив в то же время веру в интеллектуальную мощь российской науки.

Ключевые слова: Г.И. Марчук, президент АН СССР, вычислительная математика, геофизика, иммунология, руководство отраслевой и фундаментальной наукой.

DOI: 10.31857/S0869587325070091, EDN: FINWPL

Процесс научного познания — это почти всегда противостояние меньшинства, а то и одиночек, большинству.

Г.И. Марчук

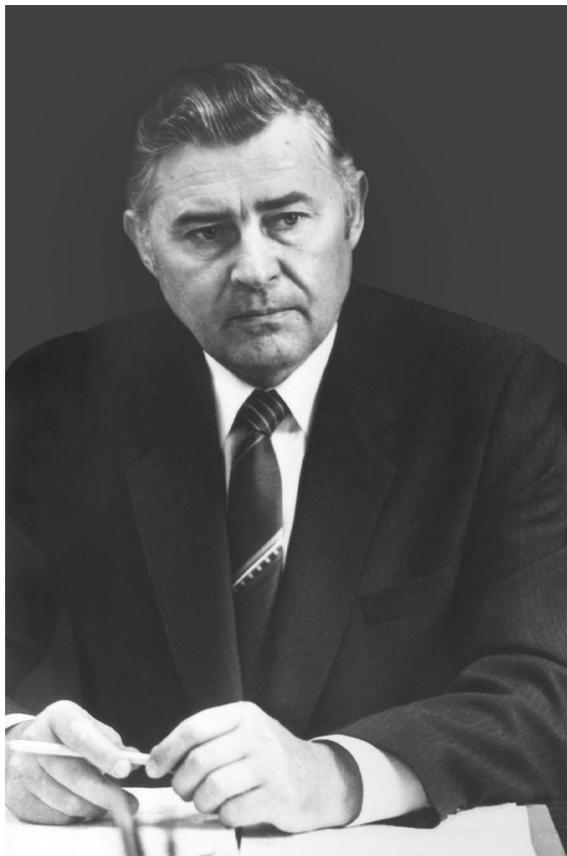
В историю российской науки академик Г.И. Марчук навсегда вошёл как последний президент Академии наук СССР. 100-летний юбилей Гурия Ивановича, который пришёлся на непростой для нашего

отечества период, служит поводом для нового осмысления его роли в научно-техническом прогрессе страны.

Наследие Г.И. Марчука поражает многогранностью, энциклопедичностью и масштабностью решаемых проблем. Его вклад в науку уникален. Он включает:

- личные исследовательские результаты, опубликованные в нескольких десятках монографий, многократно изданных за рубежом, и более 600 статей;
- создание научных школ мирового уровня по разным фундаментальным и актуальным на настоящий момент направлениям науки;
- руководство крупными научно-исследовательскими коллективами в г. Обнинске (математиче-

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



Гурий Иванович Марчук (1925–2013)

ский отдел в Физико-энергетическом институте), Новосибирске (Вычислительный Центр Сибирского отделения АН СССР, ставший кузницей кадров для научных центров Сибири и ближнего зарубежья), и в Москве (Институт вычислительной математики РАН с высшим международным рейтингом);

- научно-организационную работу на государственных должностях, включая руководство региональной наукой (вся Сибирь!), отраслевой и академической наукой;

- научно-популяризаторскую и просветительскую деятельность.

Участие в Атомном проекте. В рукописных пока неопубликованных мемуарах Гурий Иванович дал краткую авторскую оценку своих научных результатов в Атомном проекте по созданию ядерного оружия: “Моя первая большая работа в науке” – так он характеризует этот период.

«1951–1953 гг. – Разработка математической модели термоядерной бомбы. Результаты были получены для дейтерий-тритиевой и дейтерий-литиевой нейтронных композиций. Все результаты были доложены на научно-техническом совете, руководимом Игорем Васильевичем Курчатовым. Они оказались вполне легитимными и соответствовали исследованиям в Сарове и Челябинске-40.

В 1953–1961 гг. наш математический отдел получил новое задание: создать методы расчёта ядерных реакторов для атомных электростанций и для подводных лодок новейшего поколения на жидкометаллической основе теплоносителей. В результате была выдвинута идея расчёта критических масс реакторов и систем их регулирования жидкометаллической эвтектикой из свинца и висмута. Это была новая идея в мировой ядерной энергетике. Наш отдел успешно использовал методы конечных разностей для решения уравнений Больцмана в диффузионном приближении метода сферических гармоник. В результате была утверждена схема реакторов, которая была проверена на действующих макетах...

В 1958 г. я защитил докторскую диссертацию по расчёту подводных лодок. Мои результаты были использованы в монографии “Методы расчёта ядерных реакторов”, которая по рекомендации И.В. Курчатова была представлена в качестве материала от советской делегации на 2-ой Женевской конференции...

1958–1960 гг. были посвящены выполнению задания И.В. Курчатова по методам безопасности ядерных компонентов. К концу этого периода мы создали схему расчёта системы безопасности ядерных реакторов. Результаты этих работ были экспериментально проверены в Обнинске и доложены в виде трёх книг на Научно-техническом совете Главатома у И.В. Курчатова. Они получили хорошую оценку. К сожалению, через неделю после Совета Игоря Васильевича не стало».

Личные исследования и научные школы. В центре научных интересов Гурия Ивановича Марчука всегда была вычислительная математика. Среди его достижений следует отметить интегральное тождество Марчука, метод расщепления по физическим процессам и теорию сопряжённых уравнений для анализа сложных систем, которые стали классикой. Он свято следовал российской традиции, согласно которой нет учёного без учеников, и воспитал целую когорту сподвижников и последователей. Среди них В.И. Агошков, В.А. Василенко, Г.В. Демидов, В.И. Дробышевич, В.П. Ильин, Ю.А. Кузнецов, Ю.И. Кузнецов, А.М. Мацокин, В.В. Смелов, У.М. Султангазин (президент Казахской АН ССР в 1988–1994 гг.), В.В. Шайдулов, В.П. Шутяев, которые создали в разных городах и странах коллективы “внучатых” учеников Г.И. Марчука и результаты которых по вычислительной алгебре, вариационной теории сплайнов, решению обратных задач и по многочисленным приложениям получили мировое признание. При активной поддержке Гурия Ивановича в Вычислительном центре СО АН СССР Г.А. Михайлов создал лабораторию методов Монте-Карло, которая быстро трансформировалась в отдел статистического моделирования в физике, не имеющий аналогов по своему уровню ни в России, ни за рубежом.

Второе научное направление, которым занимался Марчук, беспрецедентное по широте и глубине фундаментальных проблем, массовой вовлечённости разнопрофильных специалистов и практической важности, — изучение физических процессов, происходящих в атмосфере и океане, которые определяют климат и состояние окружающей среды и служат основой для прогнозов погоды. В своей работе Марчук придерживался лозунга не бояться больших задач, а идеология его исследований охватывала широчайшую тематику — от междисциплинарных физико-математических постановок задач до методов и технологий суперкомпьютерного моделирования и планетарного натурального эксперимента.

Сформированные Марчуком коллективы включали единомышленников-энтузиастов от академиков до студентов. Среди них академики В.П. Дымников и А.С. Саркисян, члены-корреспонденты РАН Г.П. Курбаткин и В.Н. Лыков, а также доктора наук А.С. Алоян, В.Я. Галин, З.А. Гегечкори, Л.Н. Гутман, В.Б. Залесный, Е.Е. Каленкович, Г.Р. Контарев, А.А. Кордзадзе, В.П. Кочергин, В.Н. Крупчатников, В.И. Кузин, В.В. Пененко, Г.С. Ривин и многие другие.

Регулярные плодотворные контакты с ведущими отечественными и зарубежными учёными, Гидрометеослужбой и Главной геофизической обсерваторией Российской Федерации, Всемирной метеорологической организацией, Европейским геофизическим союзом и мировыми прогностическими центрами позволяли творческим коллективам под руководством Г.И. Марчука получать значимые научные и практические результаты.

Гурий Иванович Марчук стал родоначальником актуальной научной дисциплины — вычислительной иммунологии. В 1970-е годы в Новосибирске он придумал и успешно испытал на себе метод лечения от хронической пневмонии через обострение болезни. Ещё в больнице он задумался об эмпирических моделях, которые составили основу новой теории. К этой проблеме Марчук привлёк талантливых студентов Новосибирского электротехнического института и Новосибирского государственного университета А.А. Асаченкова, Л.Н. Белых, С.М. Зуева, А.А. Романюху, которые под руководством физиков И.Б. Погожева и Е.А. Кушнеренко стали постигать азы новой науки. Эта команда в 1980 г. полностью переехала вместе со своим учителем в Москву, где к ней присоединились Г.А. Бочаров и Н.В. Перцев. Позднее сотрудничество Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука с членом-корреспондентом РАН С.И. Кабанихиным и его ученицей доктором физико-математических наук О.И. Криворотько из Новосибирска привело к присуждению ей в 2024 г. молодёжной премии им. Г.И. Марчука.

От создания Вычислительного центра до руководства АН СССР. Марчуку принадлежат пионерские идеи в области методологии математического моделирования и технологий крупномасштабного вычислительного эксперимента, включая взаимодействие человека с ЭВМ, автоматизацию построения алгоритмов, их распараллеливание и отображение на архитектуру компьютера. Созданный Гурием Ивановичем Вычислительный центр СО АН СССР стал альма-матер для десятков руководителей научных институтов и университетов, центром коллективного пользования для огромного контингента



В кругу семьи

программистов, служил визитной карточкой для посетителей Новосибирского Академгородка.

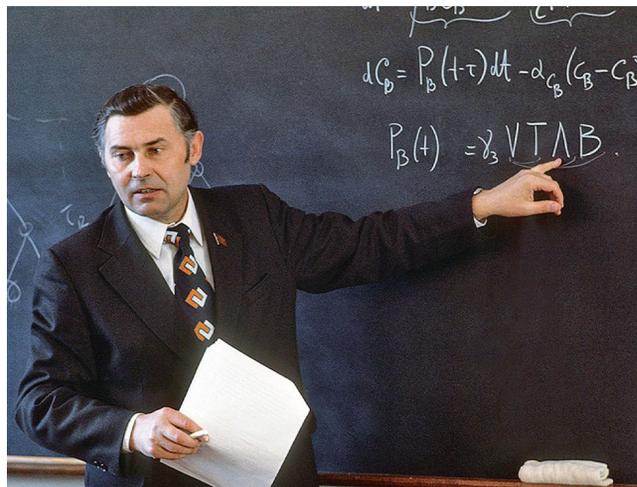
Марчук привлёк в создаваемые им институты выдающихся российских математиков: академик А.С. Алексеева, Н.С. Бахвалова, В.В. Воеводина, С.К. Годунова, А.П. Ершова, А.Н. Коновалова, М.М. Лаврентьева, Н.Н. Яненко, У.М. Султангазина, Е.Е. Тыртышникова, членов-корреспондентов АН СССР Ю.В. Василевского, В.Е. Каткова, Г.А. Михайлова, В.В. Шайдунова. Они стали основоположниками научных школ, на базе которых были созданы кафедры в Новосибирском и Московском университетах, Московском физико-техническом институте и других городах.

Высочайший международный авторитет и нравственные качества снискали Г.И. Марчуку настоящих друзей среди учёных с мировыми именами, среди которых Ж. Лионс (Франция), И. Бабушка (Чехословакия), П. Лакс (США), Э. Маженес (Италия), М. Уоллес (США) и многие другие. Блестящие доклады Марчука на конференциях и лекции в крупнейших университетах всегда привлекали большие заинтересованные аудитории.

Работа Гурия Ивановича Марчука на высших должностях – председателя Сибирского отделения Академии наук СССР и вице-президента Академии наук СССР (1975–1979), заместителя председателя Совмина и председателя Госкомитета по науке и технике СССР (1980–1986), президента Академии наук СССР (1986–1991) – пример служения Родине и борьбы за научно-технический прогресс. Марчук внёс значительный вклад как в укрепление фундаментальной российской науки, так и в упрочение её связей с производственными структурами, усиление региональных научных центров Сибири, Урала, Дальнего Востока.

Своё вхождение в эшелоны власти Гурий Иванович описывал в мемуарах следующим образом. «В 1980 г. по звонку А.П. Александрова я приезжаю в Москву. Он говорит, что академик В.А. Кириллин подал заявление о сложении своих полномочий заместителя Председателя Совета Министров СССР и руководителя Госкомитета по науке и технике, Политбюро завтра будет рассматривать вопрос о Вашем назначении на эту должность».

Назавтра в 10:00 я был в ЦК КПСС к открытию заседания политбюро. Л.И. Брежнев предоставляет мне слово по возможному назначению меня на посты, которые занимал В.А. Кириллин. Я просил дать мне поработать в Сибири ещё пять лет для начала действия программы “Сибирь”. Но политбюро решает, что для Сибирского отделения Академии наук СССР моя работа в новой должности поможет решению и этой проблемы. Все выступили единодушно “за”. И я понял, что надо согласиться. Верховный Совет утвердил меня в этих двух должностях. Я лишь попросил создать из своих учеников в Москве отдел в Вычислительном центре Академии наук СССР для



Г.И. Марчук – лектор

продолжения моей научной деятельности. Это мне было нужно для того, чтобы не растерять свой научный потенциал и помочь Президиуму Сибирского отделения Академии наук СССР активно подключить к работе научные центры вне Новосибирска.

В Государственном комитете СССР по науке и технике шла большая работа по кадровой политике. Первое, что я предпринял, – заменить заместителей председателя, которые имеют сверхбольшой стаж работы. По согласованию с ЦК я предложил перевести их в советники, сохранив все материальные условия. ЦК поддержал эту идею. Были назначены новые молодые талантливые заместители. Это был важнейший эксперимент, который сыграл в моей дальнейшей работе большую роль.

Начался период активной работы. Уже на первых порах А.Н. Косыгин поставил мой доклад на Президиум Совета Министров СССР. Всё прошло успешно. Так началась моя работа на новом месте. Но были и трудности. Поскольку А.Н. Косыгин был уже нездоров, то фактически нами руководил Тихонов, металлург по специальности, близкий человек к Брежневу. Он, к сожалению, не понимал новых идей, которые назревали в экономике. И у меня частенько возникали с ним конфликты. Я сразу же понял, что мне нужно активно “влезать” в экономику, которая должна обеспечивать научно-технический прогресс. С этой целью я при Государственном комитете СССР по науке и технике создал экономический совет, в который вошли академики Канторович Л.В., Макаров В.Л., Абалкин А.Г., Шаталин С.С. и ряд других выдающихся деятелей макроэкономики. Мы написали развёрнутый доклад с предложениями по развитию научно-технического прогресса. Отослали доклад Тихонову. Он написал, что его следует обсудить на расширенном заседании Президиума Совета Министров СССР. Но это не было сделано. Наш доклад “канул в Лету”. Он был близок по сути предложениям А.Н. Косыгина, которые были отвергнуты.

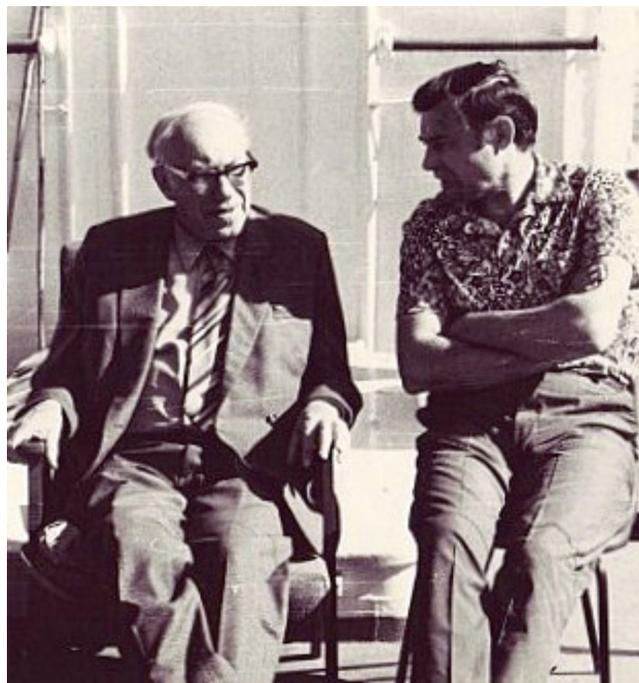
Пришло время взяться за организацию научно-технического прогресса. Мы выдвинули тезис о международной программе развития научно-технического прогресса. Получив от руководства одобрение, мы встретились со всеми заместителями премьер-министров стран Варшавского договора, которые, обсудив наше предложение, присоединились к ним. Вскоре программа была полностью подготовлена. Но оказалось, что финансово она не обеспечена: каждое государство объявило, что они будут поддерживать только те её части, которые им наиболее интересны. А без единого общего фонда программа не пойдёт.

Н.И. Рыжков, новый председатель Совета Министров, дважды высказывался, что якобы Государственный комитет СССР по науке и технике не справился со своими задачами в этом плане: на заседании Президиума Совета Министров СССР и на Политбюро. Мы все были расстроены. У А.К. Романова, моего заместителя по международным делам, случился инфаркт, а у меня — гипертонический криз. Но, к счастью, все поняли, что дело не в Государственном комитете СССР по науке и технике, а в общеполитических вопросах. Кстати, можно отметить, что одновременно с нами началась организация аналогичной программы стран Европы “Эврика”. Но и она тоже не пошла из-за отсутствия единого денежного эквивалента.

Программы НТП дали бесценный опыт. В нашей стране были созданы 20 организаций (межотраслевых научно-технических комплексов), состоящих из академических институтов и специальных конструкторских бюро для разработки НИРов и заводов по производству готовой продукции, таких как сварка, электроника, глазные болезни и др. Дело пошло, поскольку все эти комплексы были выделены отдельными статьями в Государственном плане».

Последний президент АН СССР. 16 октября 1986 г. после ухода в отставку академика А.П. Александрова по предложению Отделения математики, при поддержке президиума АН СССР и Политбюро ЦК КПСС Г.И. Марчук был избран президентом АН. Это было время перестроек, которые в большой мере затронули и Академию наук СССР. Первые шаги Гурия Ивановича Марчука на посту президента академии были связаны с омоложением состава президиума и директорского корпуса. С этой целью был введён статус советника Академии наук.

Налаживалось взаимодействие академических институтов с предприятиями различных министерств, направленное на ускорение внедрения результатов фундаментальных научных исследований в народное хозяйство. Важную роль сыграла инициатива Марчука по стимулированию творческих и организационных связей отделений и президиума Академии наук СССР с институтами, укрепившая единство академических структур в управлении наукой. Было активизировано взаимодействие с выс-



С академиком М.А. Лаврентьевым

шими представителями власти на партийном и правительственном уровнях, что усилило экспертную роль Академии наук в крупных государственных программах.

Большое значение для Академии наук имела успешная деятельность Марчука по возвращению в академию технических наук, которые в своё время были переданы Н.С. Хрущёвым в отраслевые министерства. Министерства загрузили институты сиюминутными задачами, и их научный уровень стал быстро падать. Был возвращён академический статус Институту машиностроения вместе с его региональными филиалами, восстановлены связи с генеральными конструкторами самолётов, ракет и космических аппаратов.

Много усилий приложил Гурий Иванович к окончательной ликвидации последствий гонений на биологические науки, которые начались во времена “лысенковщины”. Академия наук СССР внесла в Совет Министров СССР предложение о государственных наградах учёным, проявившим принципиальность и стойкость в борьбе за научную истину. Многие из них 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 народное хозяйство. 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 был создан Международный математический институт им. Л. Эйлера нового типа, а в Москве — возведено новое здание, где расположились Математический институт им. В.А. Стеклова и отдел вычислительной математики при президиуме АН СССР, реорганизованный позже в одноимённый институт, которому в 2013 г. было присвоено имя Г.И. Марчука.

Международные связи. Деятельность Г.И. Марчука на высоких государственных постах была связана в том числе и с руководством многочисленными программами международного научно-технического сотрудничества, приёмом иностранных делегаций. Он часто возглавлял советские научные делегации в зарубежных поездках. Огромное значение для успехов международного сотрудничества имели личные контакты с государственными лидерами.

Марчук долгое время возглавлял российско-индийское общество дружбы. У него были теплые отношения с Индирой Ганди и её сыном Радживом. Он бывал у них дома и неоднократно принимал их в нашей стране. Благодаря его личным многолетним контактам с лидерами французской и итальянской математических школ плодотворно работал советско-франко-итальянский симпозиум, в котором активно участие принимали учёные из Парижа, Павии, Новосибирска, Москвы и других городов. Марчук был сопредседателем Большой комиссии по научно-техническому сотрудничеству СССР и Франции, многократно встречался с президентом Франции Франсуа Миттераном, подписывал важные договоры с главами многих государств — М. Тэтчер (Ве-

ликобритания), Я. Накасоне (Япония), Ф. Гонсалесом (Испания), А. Папандреу (Греция) и многими другими, включая лидеров социалистических стран.

Борьба за прогресс и трагедия советской науки. Реформы М.С. Горбачёва на фоне непростого экономического положения в стране вызвали волну оппозиционных настроений, в том числе в академической среде. В эти годы большой резонанс получили выступления академика А.Д. Сахарова, который за свои политические акции был сослан в г. Горький. В 1987 г. Горбачёв отменил этот указ, и Марчук в качестве президента Академии наук СССР прилетел в Горький и предложил Сахарову вернуться в родной для него Физический институт им. П.Н. Лебедева.

Общественная деятельность занимала значительное место в жизни Марчука. Он был членом ЦК КПСС, депутатом Верховного Совета СССР нескольких созывов и по личному приглашению Горбачёва участвовал в заседаниях Политбюро ЦК КПСС. Он давал много интервью, публиковал актуальные статьи в центральных газетах и журналах, а его выступления на различных собраниях и форумах всегда вызывали резонанс у широкой публики.

Идеи Марчука о совершенствовании форм управления научно-технологическим прогрессом в 1989 г. были сформулированы им в ряде выступлений, в том числе в газете “Правда” от 7 марта, а также в его обращении к ЦК КПСС. Они содержали конкретные предложения по коренному пересмотру структурной, инвестиционной, технической и социальной политики в сфере фундаментальных научных исследований в стране. К выработке соответствующих мер были привлечены учёные и специалисты Академии наук СССР, системы образования, различных ми-



Президент Франции Ф. Миттеран награждает Г.И. Марчука Орденом Почётного легиона. 1988 г.



Слева направо: Академики АН СССР Н.Н. Моисеев, Г.И. Марчук, Г.А. Месяц, А.Д. Сахаров.

нистерств и ведомств. Широкая поддержка научной общественности была подтверждена 23 апреля 1990 г. избранием Г.И. Марчука президентом Академии наук СССР на новый срок. Ровно через пять месяцев после этого произошло важнейшее событие: 23 августа 1990 г. Президент СССР М.С. Горбачёв издал Указ № 627 “О статусе Академии наук СССР”, согласно которому академия была признана общесоюзной самоуправляемой организацией, действующей на основе законодательства и собственного устава без какого-либо вмешательства государственных и иных структур. Устанавливались широкие имущественные права Академии наук, определялись основы финансирования, международного сотрудничества и социального обеспечения. К сожалению, дальнейшие кризисные явления в стране не позволили закрепить новые положения в Уставе Академии наук. Примечательно, что 21 ноября 1991 г. Президент России Б.Н. Ельцин издал Указ № 228 “Об организации Российской академии наук”, которым концепция Г.И. Марчука была поддержана, для РАН устанавливались примерно те же права, что и в указе М.С. Горбачёва о союзной академии.

Драматические политические события привели к Беловежским соглашениям и, как следствие, реорганизации Академии наук СССР в Российскую академию наук. В декабре 1991 г. состоялось Общее собрание РАН, на котором с большой прощальной речью выступил последний президент Академии наук СССР Г.И. Марчук. Этот знаменательный доклад был полностью опубликован в газете “Правда” и во многих других изданиях. В докладе излагалась почти 300-летняя история Академии наук, текущее её состояние, он был проникнут пророческим ви-

дением перспектив российской науки, верой в её жизненные силы. Приведу концовку выступления Марчука:

“Мы переживаем процесс разрушения нашего научного потенциала как целостной системы. Надежды на то, что можно финансировать и спасти хотя бы одну часть этой системы (например, только фундаментальную науку), иллюзорны. Наука — это живой организм, а не конгломерат автономных механизмов. К сожалению, концепции спасения отечественной науки, её выживания и возрождения нет ни у политиков, ни у научной общественности. Реальные драматические процессы заслонены новыми идеологическими мифами, утопическими проектами и абстрактными суждениями.

Уважаемые коллеги! Я хотел бы завершить это выступление — последнее выступление последнего президента Академии наук СССР, взглядом в будущее. Нелёгкий путь, полный ежечасной работы и трудного поиска, предстоит пройти нашему научному сообществу в ближайшие годы. На нём ждут нас не только успехи и обретения, но и неизбежные разочарования и утраты. Осилит ли мы его? Я думаю, осилит. Залогом тому служат интеллектуальная мощь нашего сообщества, присущее ему понимание интересов страны и наше неизбывное стремление служить благу России, всего народа!”

Философия Г.И. Марчука. Заслуги Г.И. Марчука достойно оценены на Родине и за рубежом: Герой Социалистического Труда, четыре Ордена Ленина, лауреат Ленинской и Государственных премий, кавалер высших орденов Франции и Индии, множество государственных наград СССР, России и разных стран, почётные звания члена иностранных

академий и доктора honoris causa крупнейших университетов, престижные отечественные и международные премии и медали. Это не меняло присущих Гурию Ивановичу скромности, отзывчивости, дружелюбия, готовности служить людям, философского отношения к жизни, глубокого проникновения в суть проблем и дара предвидения.

Марчук был человеком, у которого личные интересы и вопросы служения Родине гармонично дополняли друг друга. Активное участие в комсомольской и партийной работе было естественным стремлением к достижению светлого будущего. В период жёсткого противостояния с западным миром Гурий Иванович как участник Великой Отечественной войны и как учёный, сопричастный к обеспечению национальной безопасности, как никто другой осознавал стратегическое значение научно-технического прогресса, требующего мобилизации всего общества. Эту цель он преследовал не только в научной и научно-организационной деятельности, но и в ярких публицистических работах.

Научно-популярные и мемуарные книги Марчука, написанные в том числе совместно с женой Ольгой Николаевной, содержат серьёзный исторический материал и играют большую просветительскую роль даже спустя много лет. Избранные места из этих книг и замечательных публицистических статей, собранные в однотомнике «Наука управлять наукой»¹ [1], по существу стали посланием умудрённого опытом наставника; об их содержании лучше всего говорят заголовки: «Хотим объединить оппозиционные и правительственные силы», «Взгляд в будущий век», «Культурным людям не тесно на Матушке-Земле», «Реформа — веление времени», «Амбиции и корысть разорвали связь времён», «Просветительство — коренной национальный интерес России», «Без науки Россия превратится в колонию».

Изречения Гурия Ивановича Марчука о философии познания и стратегической роли Российской академии наук — это бесценные послания учителя новому поколению учёных:

- наука — это живой организм, а не конгломерат автономных механизмов;
- имея скромные ресурсы, которые предоставляло им общество, [советские] учёные часто показывали эффективность, немыслимую в других странах мира;
- Академия наук — хранительница очагов русской науки;
- научная истина не может быть найдена путём голосования;
- если мы допустим распад Академии наук как целостного организма, всей науке страны будет нанесён непоправимый ущерб:

- фундаментальная наука, которую развивает Академия наук, не зависит ни от региональных, ни от политических и идеологических проблем;

- моими учителями также являются мои сотрудники, потому что я всегда выбираю сотрудников, у которых был бы дар божий, настоящий талант;

- наука будет действительно всеми признаваться и от неё начнут получать плоды тогда, когда она будет по принятому и утверждённому закону получать 4% расходной части бюджета;

- в эпоху бурного технического прогресса, глобальной социальной интеграции проблемы устойчивости, сохранения культурной идентичности и разнообразия приобретают особое значение;

- когда лектор абстрагируется от деталей — излагает суть сложных проблем и добивается их понимания — это и есть высочайшее проявление интеллекта учёного;

- борьба вокруг роли науки в обществе была всегда, все 300 лет, что существует наша академия.

Наследие Г.И. Марчука и миссия российской науки. Многоликое научное наследие Гурия Ивановича Марчука уникально и включает более 20 монографий, переизданных на различных языках, и свыше 600 статей, охвативших широчайший спектр фундаментальных и прикладных проблем. Венцом этих исследований стал пятитомник избранных трудов объёмом более 3000 страниц. Современное развитие научных школ Г.И. Марчука представили его ученики и единомышленники в коллективной монографии «Актуальные проблемы вычислительной математики и математического моделирования», которая издана к 100-летию юбилею выдающегося учёного.

Что касается государственных задач, то Марчук связывал их с оптимизацией управления научно-техническим прогрессом на благо общества. Он последовательно шёл к своей цели и был близок к её достижению в 1990 г., когда на основе его предложений был издан Указ президента СССР о новом статусе Академии наук. Дело оставалось за малым: довести новые принципы до устава Академии наук и внедрить их в жизнь. Но, к сожалению, этому не суждено было сбыться.

Сейчас, как и прежде, вопросы развития российской науки требуют к себе серьёзного внимания. За первую четверть XXI в. мир стал другим. Суперкомпьютерное сообщество перешло от терафлопсных ЭВМ к эксафлопсным компьютерам с быстродействием на шесть порядков больше, развиваются искусственный интеллект, породивший машинное обучение, мощнейшие нейросети и роботы новых поколений. Всё это кардинально меняет темпы технологического развития передовых стран.

В такой ситуации нельзя не подумать о возрождении в нашей стране программы фундаментальных исследований, об интеграционных междисципли-

¹ Марчук Г.И. Наука управлять наукой / Отв. ред. В.П. Дымников, В.П. Ильин. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2015.

нарных проектах, отечественном фонде алгоритмов и программ и других организационных структурах, которые традиционно курировали президиум РАН и тематические отделения. Достижения Академии наук СССР, обеспечившие создание ракетно-ядерного щита и полёт Юрия Гагарина, — это беспримерный образец эффективного управления научно-технологическим прогрессом. Опыт последнего президента Академии наук СССР Г.И. Марчука, который сделал так много для уникального единения региональной, отраслевой и фундаментальной науки, сумел предложить концепцию нового статуса Академии наук, несомненно, должен стать предметом пристального изучения. Как говорил Гурий Иванович, “есть объективные законы жизни сложных систем, какой является наша академия. Те, кто пытается навязать сложной системе, сложившейся в течение трёх столетий, свои жёсткие и одиозные планы, закономерно приводят её к разрушению”.

Г.И. Марчук очень серьёзно относился к методологии творческого процесса: “Главным средством для научного осмысления и понимания происходящих сложных процессов является, конечно, живое общение!!! Живое общение в институте — это семинар, лекция, в масштабах страны — симпозиумы и конференции, в международном масштабе — научные съезды, конгрессы, рабочие группы учёных, объединённых общей идеей. Человек там общается с нужными ему людьми, способными говорить на одном языке и понимать одни и те же проблемы.

Каждое выступление на таких форумах содержит освобождённую от всего второстепенного суть проблемы, её квинтэссенцию”.

Гурий Иванович неоднократно обращался к теме будущего: “XXI век, несомненно, будет временем быстрого роста интеллектуального потенциала человечества. Отсюда резко возрастает значение постоянного накопления и обновления фундаментальных знаний, непрерывного образования, проведения социальной экспертизы. Без этого невозможно дальнейшее цивилизованное развитие России”.

Закончить эту статью можно словами Г.И. Марчука, написанными более 20 лет назад: “У меня есть уверенность, что страна с такими огромными ресурсами, с таким громадным интеллектуальным багажом, конечно, найдёт своё место в геополитическом пространстве и снова будет великой державой”.

Проводимые в 2025 г. юбилейные мероприятия в честь 100-летия Г.И. Марчука — это дань глубокой признательности учеников и коллег Гурия Ивановича, свидетельство верности его заветам и готовности приумножать мировой авторитет российской науки, обеспечивать технологический прогресс нашей страны и устойчивое развитие общества

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках госзадания ИВМиМГ СО РАН (FWNM-2022-0001).

MATHEMATICS, SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS AND NATIONAL IDEA

ON THE 100th ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF ACADEMICIAN G.I. MARCHUK

V.P. Ilyin^{a,*}

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

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

Guriy Ivanovich Marchuk, an outstanding Soviet and Russian scientist in the field of computational mathematics, atmospheric physics and geophysics, and an organizer of science. His creative legacy includes more than 20 monographs and 600 scientific articles on computational mathematics, atmospheric and ocean physics, nuclear power engineering, immunology and other areas of science. He created and headed the Mathematical Department at the Physics and Power Engineering Institute (Obninsk), the Computing Center of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences in the Novosibirsk Akademgorodok, and the Institute of Computational Mathematics of the Russian Academy of Sciences in Moscow, which became world-class scientific schools. In 1975, G.I. Marchuk succeeded M.A. Lavrentiev as Chairman of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences and made a significant contribution to the creation of the “Siberia” program.

In 1980, G.I. Marchuk was appointed Chairman of the USSR State Committee for Science and Technology with the rank of Deputy Chairman of the Council of Ministers of the USSR, and in 1986 he was elected President of the USSR Academy of Sciences. In this position, he strengthened the ties between academic

structures and industrial enterprises and ministries, which significantly increased the role of science in the implementation of state programs. However, the dramatic events of the early 1990s led to the reorganization of the USSR Academy of Sciences into the Russian Academy of Sciences, which prompted G.I. Marchuk to deliver a speech at the General Meeting of the Russian Academy of Sciences in December 1991, in which, in the presence of B.N. Yeltsin, he predicted the tragic consequences of radical democratization, while expressing faith in the intellectual power of Russian science.

Keywords: G.I. Marchuk, President of the USSR Academy of Sciences, computational mathematics, geophysics, immunology, management of industry and fundamental science.