

Том 94, Номер 4

ISSN 0869-5873

Апрель 2024



# ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



НАУКА

— 1727 —

ВСПЕВЕДАШНІ ДЕРЖАВ  
НАУКОВИЙ АКАДЕМІК

# СОДЕРЖАНИЕ

---

Том 94, номер 4, 2024

---

## С кафедры президиума РАН

*Л.М. Зелёный*

Мечта о космосе и её воплощение 311

---

## Наука и общество

*А.Н. Макоедов, Г.Г. Матишов, Е.Н. Пономарёва*

Отечественные тенденции пользования водными биоресурсами 315

---

## Проблемы экологии

*В.И. Данилов-Данильян, Н.М. Новикова, О.Г. Назаренко*

Экологические последствия создания и спуска водохранилищ в степной зоне 328

---

## Из рабочей тетради исследователя

*С.В. Авакян, Л.А. Баранова, В.В. Ковалёнок, В.П. Савиных*

Микроволновое излучение космоса и перспективы его использования  
в квантовых движителях 346

*О.В. Бухарин, Е.В. Иванова, И.А. Здвижкова*

Синергидная активность лизоцима и карнозина с антимикробными препаратами  
в отношении *Klebsiella pneumoniae* 358

---

## Этюды об учёных

*М.А. Семёнов-Тян-Шанский*

От квантовой теории поля к квантовому методу обратной задачи  
К 90-летию со дня рождения академика Л.Д. Фаддеева 366

*В.Г. Шевченко*

Человек на все времена  
К 100-летию со дня рождения академика Н.С. Ениколопова 378

---

## Размышления над новой книгой

*Ф.О. Трунов*

О полезности обращения к опыту Организации Варшавского договора 389

---

## В мире книг

*В.Л. Бабурин*

Пространственное развитие Тихоокеанской России: структурные особенности,  
факторы, основные направления 395

---

## Официальный отдел

Награды и премии 400

---

# CONTENTS

---

**Vol. 94, No. 4, 2024**

---

## **From the Rostrum of the RAS Presidium**

*L.M. Zeleniy*

The dream of space and its implementation 311

---

## **Science and Society**

*A.N. Makoedov, G.G. Matishov, E.N. Ponomareva*

National trends in the use of aquatic bioresources 315

---

## **Ecological problems**

*V.I. Danilov-Danilyan, N.M. Novikova, O.G. Nazarenko*

Environmental consequences of the creation and discharge of reservoirs in the steppe zone 328

---

## **From the researcher's notebook**

*S.V. Avakyan, L.A. Baranova, V.V. Kovalenok, V.P. Savinykh*

Microwave radiation of space and modern natural science 346

*O.V. Bukharin, E.V. Ivanova, I.A. Zdvizhkova*

Synergid activity of lysozyme and carnosine with antimicrobial drugs in relation to *Klebsiella pneumoniae* 358

---

## **Profiles**

*M.A. Semenov-Tyan-Shanskiy*

From quantum field theory to the quantum method of the inverse problem  
On the 90<sup>th</sup> anniversary of the birth of academician L.D. Faddeev 366

*V.G. Shevchenko*

A man for all times  
To the 100<sup>th</sup> anniversary of the birth of academician N.S. Enikolopov 378

---

## **Reflections on a new book**

*F.O. Trunov*

On the usefulness of turning to the experience of the Warsaw Pact Organization 389

---

## **In the book world**

*V.L. Baburin*

Spatial development of pacific Russia: structural features, factors, main directions 395

---

## **Official Section**

Awards and prizes 400

---



## МЕЧТА О КОСМОСЕ И ЕЁ ВОПЛОЩЕНИЕ

© 2024 г. Л.М. Зелёный<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

\*E-mail: lzelenyi@iki.rssi.ru

Поступила в редакцию 11.04.2024 г.

После доработки 11.04.2024 г.

Принята к публикации 17.04.2024 г.

9 апреля 2024 г., в преддверии Дня космонавтики, академик РАН Л.М. Зелёный, лауреат премии имени К.Э. Циолковского 2023 г., выступил на заседании Президиума РАН с кратким сообщением, которое предлагается вниманию читателей журнала “Вестник Российской академии наук”.

**Ключевые слова:** К.Э. Циолковский, Комиссия РАН по разработке научного наследия К.Э. Циолковского, Группа изучения реактивного движения, Лунная программа, популяризация космических исследований.

**DOI:** 10.31857/S0869587324040013, **EDN:** GFSTLC

Первая книга Константина Эдуардовича Циолковского называлась очень романтически – “Грёзы о Земле и небе”. Уже в ней чётко названа триада, в рамках которой происходит развитие научной идеи: мечта – научный расчёт – воплощение. Сам Циолковский далеко продвинулся по пути инженерной реализации своих странных для современников космических идей.

Важно, что научно-технические и философские труды нашего великого соотечественника активно изучаются. Много лет в Российской академии наук работала Комиссия РАН по разработке научного наследия К.Э. Циолковского, подготовившая к изданию все его технические работы. До недавнего времени комиссию возглавлял академик М.Я. Маров, ушедший из жизни в минувшем году. Архив РАН располагает обширным фондом Циолковского, который требует разработки. Очень много делается и в Калужском музее истории космонавтики им. К.Э. Циолковского.



ЗЕЛЁНЫЙ Лев Матвеевич – академик РАН, научный руководитель ИКИ РАН.

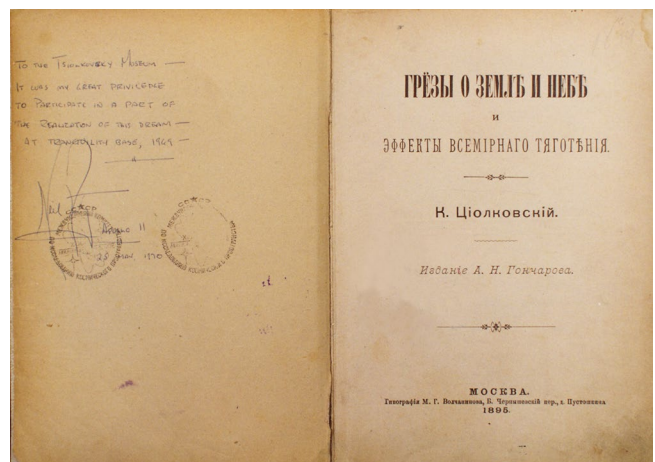


Рис. 1. Титул книги К.Э. Циолковского “Грёзы о Земле и небе”

В Калуге установлен памятник, посвящённый встрече Циолковского и Королёва. Документально не доказано, что их встреча действительно имела место, но известно, что они активно переписывались, и Сергей Павлович неоднократно признавал, что идеи Циолковского – и технические, и философские – всегда вдохновляли его. Если вспомнить имена пионеров отечественной космонавтики, сотрудников легендарной Группы изучения реактивного движения (ГИРД) – Ф.А. Цандера, М.К. Тихонравова, Ю.В. Кондратюка, – то все они находились в идейном поле Циолковского. На мой взгляд, его главная заслуга состоит именно в том, что на его

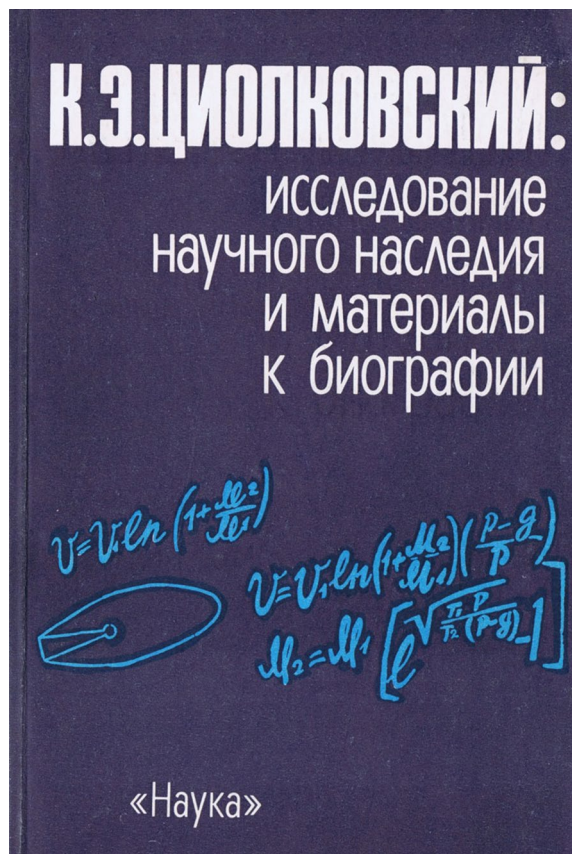


Рис. 2. Обложка книги “К.Э. Циолковский: исследование научного наследия и материалы к биографии”

трудах было воспитано поколение инженеров, воплотивших в реальную технику его мечты и идеи. Недаром главным лозунгом ГИРДа было позаимствованное у Циолковского “Вперёд на Марс”.

Удивительны многие прозрения Циолковского. Так, вплоть до начала XXI в. Луна считалась сухим и мёртвым небесным телом. Он первым написал об “обширных слоях отвердевшей воды” в полярных областях спутника Земли. Это блестяще подтвердилось в наше время, причём при участии российских учёных. В разрабатываемой сейчас Лунной программе предусмотрено исследование и южной (более “мокрой”), и северной (тоже влажной) полярных областей российскими экспедициями Луна-27 (а и б)<sup>1</sup>.

Сейчас РАН и ГК “Роскосмос” активно работают над отечественной Лунной программой — помимо посадочных “Лун-27 а и б” аппаратов предполагается запуск орбитального аппарата “Луна-26” для высокоточной съёмки поверхности Луны и изучения

<sup>1</sup> Нумерация лунных миссий в современной российской Федеральной космической программе отсчитывается от легендарных советских экспедиций к Луне, последняя из которых — “Луна-24” (доставка на Землю образцов лунного реголита) — состоялась в 1976 г.



Рис. 3. Памятник К.Э. Циолковскому и С.П. Королёву в Калуге

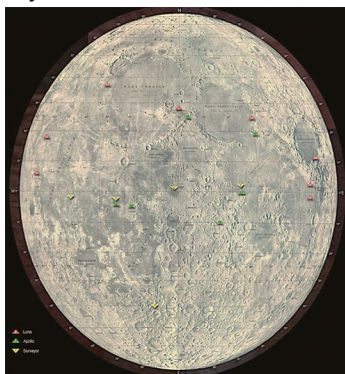
её экзосферы. В конце десятилетия в рамках лунной посадочной экспедиции “Луна-28” планируется криогенная доставка на Землю полярного грунта со всеми интересными включениями в него летучих веществ (воды и, возможно, органических молекул).

Думаю, большинство из вас слышали об аварии нашего первого аппарата “Луна-25” в августе прошлого года. Это, конечно, большая беда для всех участников программы, но тяжёлый урок учтён нашей промышленностью, и нас, несомненно, ободрят поддержка Президента РФ В.В. Путина, его твёрдая позиция, что Россия должна иметь свою Лунную программу, несмотря на временные неудачи. И российский, и зарубежный опыт свидетельствует, что масштабные проекты становятся драйверами инновационного развития страны. Новые технологии, новые связи профильных ведомств, новые методы передачи больших информационных потоков на сверхбольшие расстояния, а главное — атмосфера нового большого дела, привлекательная для молодёжи, станут результатами такой программы, не менее важными, чем решение научных и практических задач освоения космоса.

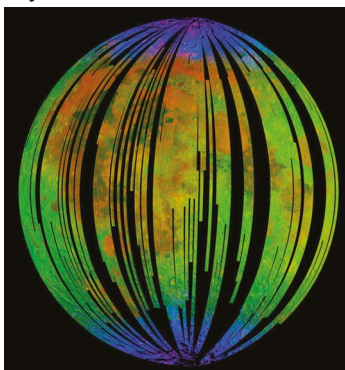
Мы много занимаемся популяризацией космоса среди школьников, студентов и вообще любознательной молодёжи. Это, в частности, научно-популярный журнал “Земля и Вселенная”, который в прошлом году получил престижную премию имени Александра Беляева. Осенью 2024 г. будет проведена Третья конференция “Дорога в космос”, где на одной площадке должны собраться все, кто занимается космическим образованием, — редакторы журналов, вузовские и школьные преподаватели, директора космических музеев и планетариев. Первые две такие конферен-



Луна XX века



Луна XXI века



“...Контрасты температур громадны вследствие отсутствия уравнивающего воздействия воды и воздуха. Всегда затененные углубления и ямы страшно холодны. Еще холоднее должна быть температура подобных мест в северных и полярных областях. Возможно, что там накопились обширные слои отвердевшей воды и атмосферы”.

К.Э. Циолковский, “Вне Земли (повесть)” изд. Калужского Общества изучения природы и местного края, Калуга, 1920 г.

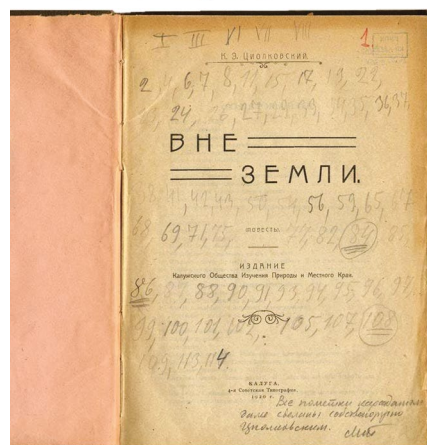


Рис. 4. Луна в представлении К.Э. Циолковского

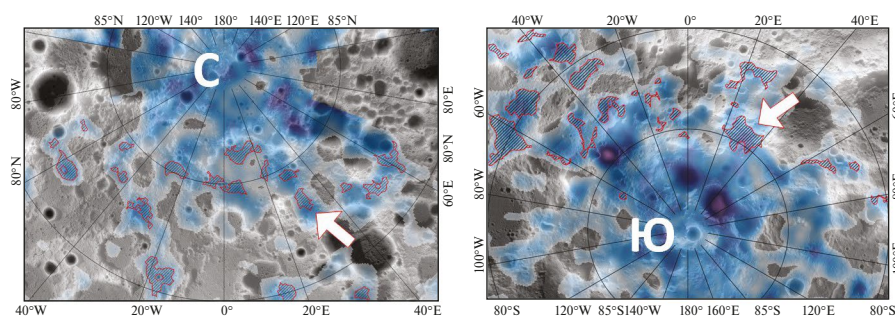


Рис. 5. Водяной лёд в приполярных районах Луны

ции оказались чрезвычайно успешными (веб-сайт конференции <https://roadtospace.cosmos.ru/>).

В заключение несколько слов о Совете РАН по космосу. Совет был основан двумя выдающимися учёными академиками М.В. Келдышем и В.А. Котельниковым. В последние два года совет возглавляет академик Г.Я. Красников. Совет реструктурирован в прошлом году, в его состав вошли 10 тематических секций и 4 комиссии, и все они сейчас активно работают над формированием новой космической программы России (включающей исследования Луны, Солнечной системы и дальнего

космоса) на следующее десятилетие. Очень важно, что за это время существенно возросла роль совета в формировании космической стратегии России, в том числе в области фундаментальных исследований и тесно связанных с ними важных практических направлений.

Только что успешно завершился российско-белорусский полёт в космос. Можно поздравить белорусских коллег, с которыми у нас сейчас сложилась обширная космическая повестка, и всё академическое сообщество с наступающим замечательным праздником — Днём космонавтики!

## THE DREAM OF SPACE AND IT'S IMPLEMENTATION

L.M. Zeleniy<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: lzelenyi@iki.rssi.ru*

On April 9, 2024, on the eve of Cosmonautics Day, Academician of the Russian Academy of Sciences L.M. Zeleny, laureate of the K.E. Tsiolkovsky 2023, spoke at a meeting of the Presidium of the Russian Academy of Sciences with a brief message, which is brought to the attention of readers of the journal "Herald of the Russian Academy of Sciences".

**Keywords:** K.E. Tsiolkovsky, RAS Commission for the Development of the Scientific Heritage of K.E. Tsiolkovsky, Jet propulsion research group, Lunar program, popularization of space research.

## ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫМИ БИОРЕСУРСАМИ

© 2024 г. А.Н. Макоедов<sup>а,\*</sup>, Г.Г. Матишов<sup>а,\*\*</sup>, Е.Н. Пономарёва<sup>а,\*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

\*E-mail: tomak06@mail.ru

\*\*E-mail: matishov\_ssc-ras@ssc-ras.ru

\*\*\*E-mail: kafavb@mail.ru

Поступила в редакцию 29.11.2023 г.

После доработки 16.01.2024 г.

Принята к публикации 29.01.2024 г.

В статье рассмотрены отечественные тенденции пользования водными биоресурсами за более чем вековой период. До начала 1950-х годов ключевую роль в обеспечении рыбной продукцией играли внутренние водоёмы, прежде всего Каспийское и Азовское моря. Общие объёмы вылова не превышали 2 млн т. Антропогенное воздействие привело к глобальным негативным изменениям экосистем южных морей нашей страны. Рыбохозяйственное значение внутренних водоёмов значительно уменьшилось. Активное развитие океанического рыболовства в 1960–1980 годы позволило довести объёмы добычи водных биоресурсов до 10–11 млн т. Начиная с 2018 г. доступ к пользованию водными биоресурсами в значительной мере зависит от вовлечённости отечественных промышленных компаний в строительство новых судов на российских верфях. Разведанные запасы даже традиционно добываемых гидробионтов позволяют полностью обеспечить промышленные мощности всех строящихся и проектируемых в настоящее время судов. Вклад товарного рыбоводства в общее производство отечественной рыбопродукции в обозримой перспективе, по-видимому, не будет превышать 10%.

**Ключевые слова:** водные биоресурсы, рыболовство, аквакультура, состояние запасов.

**DOI:** 10.31857/S0869587324040023, **EDN:** GFRYAI

На протяжении всей истории человечества люди используют для своих нужд водные биологические ресурсы. Пользование ими во многом определяло условия жизни населения на прибрежных территориях рек, озёр, морей, океанов, формировало надёжную основу занятости. В современном мировом рыболовстве и рыбоводстве задействованы почти 60 млн человек [1].

Последовательно рос ассортимент гидробионтов, вовлекаемых в хозяйственную деятельность человека, совершенствовались способы и увеличивались объёмы добычи водных биоресурсов. На рубеже XVIII–XIX вв. общемировой вылов составлял около 1 млн т [2]. В 2020 г. объём добычи достиг 214 млн т, включая 178 млн т водных животных и 36 млн т водорослей [1]. Продукция промыс-



**МАКОЕДОВ** Анатолий Николаевич — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ихтиологии ЮНЦ РАН. **МАТИШОВ** Геннадий Григорьевич — академик РАН, научный руководитель ЮНЦ РАН. **ПОНОМАРЁВА** Елена Николаевна — доктор биологических наук, заведующая отделом водных биологических ресурсов бассейнов южных морей ЮНЦ РАН.



ленного рыболовства, составившая (без водорослей) более 90 млн т, была оценена в 141 млрд долл., продукция аквакультуры (около 123 млн т) — почти в 265 млрд долл. Около 160 млн т произведённой из водных животных продукции пошло на пищевые цели. Среднемировое потребление рыбопродукции находится на уровне около 20 кг на человека в год.

При рассмотрении мировых тенденций пользования водными биоресурсами нами показано [3], что запасы наиболее значимых для рыболовства видов гидробионтов находятся в исторических пределах свойственной им естественной межгодовой и многолетней динамики. Для долговременной эффективной эксплуатации этих запасов достаточно соблюдать стандартные меры регулирования промысла. Ресурсный потенциал Мирового океана позволяет существенно нарастить объёмы добычи гидробионтов. Более высокие, по сравнению с рыболовством, темпы развития аквакультуры в последние 25–30 лет обусловлены не подрывом естественных запасов промысловых объектов или снижением продуктивности Мирового океана, а социально-экономическими преимуществами товарного выращивания гидробионтов. Особенно рельефно такие преимущества проявляются в районах наиболее плотного скопления населения — в Юго-Восточной Азии и Африке.

Берега России омывают 13 морей и один океан. На её территории расположено более 2 млн озёр суммарной площадью (без Каспия) около 350 тыс. км<sup>2</sup>, протекает более 3 млн рек общей протяжённостью примерно 12 млн км. Обилие водных объектов предопределило высокую значимость обитающих в них гидробионтов для жителей России.

Рыбный промысел традиционно играл важную роль в хозяйственной жизни страны [2–5]. Первые крупные центры рыболовства возникли на озёрах Чудском, Ильмень, Селигере, Ладожском, Онежском, в среднем течении Днепра. Новгород — “отец городов русских” и Киев — “мать городов русских” были основаны вблизи крупных рек и озёр, изобиловавших рыбой. Новгородцы, промышлявшие рыбу и морского зверя, начинали освоение русского Севера. История русских первопроходцев на Дальнем Востоке тесно связана с развитием рыболовства.

Как изменялись приоритеты пользования водными биоресурсами в нашей стране и какие факторы их определяли? Какие результаты были достигнуты? Каковы количественные оценки потенциальных возможностей увеличения продукции российского рыболовства? Какую роль призвана играть отечественная аквакультура в пользовании водными биоресурсами? Попытка ответов на эти вопросы предпринята ниже.

**Приоритеты пользования водными биоресурсами и определявшие их факторы.** Статистические данные, характеризующие рыболовство, существенно разнятся [2]. Тем не менее, несмотря на расхожде-

ния в оценках, можно составить общие представления об основных тенденциях пользования водными биоресурсами.

Во второй половине XIX в. среднегодовой вылов в Российской империи составлял около 500 тыс. т, из которых 46–48% обеспечивал Каспий, 8–16% — Азов. В каждом учуге, расположенном в дельте Волги, ежедневно добывали от 200 до 400 огромных рыбин длиной от 20 до 26 футов (то есть примерно 6–8 м) [4]. До середины XIX в. в здешних уловах преобладали осетровые. Со второй половины столетия к ним добавились лещ, судак, сазан и сельдь, которая вначале шла исключительно на получение жира, а с 1860-х годов довольно быстро вошла в число популярных продуктов питания. Объём морского промысла в Каспийском бассейне (его вели исключительно с парусных судов) был тогда невелик.

Динамика отечественной добычи водных биоресурсов демонстрирует значительный разброс значений (рис. 1). С начала XX в. до настоящего времени ежегодные уловы изменялись в интервале от 0.26 до 11.45 млн т. Нарастивание вылова с 1 млн т до 2 млн т потребовало примерно 40 лет. За последующие 40 лет уловы возросли до 10–11 млн т. Объёмы общесоюзной добычи водных биологических ресурсов в 1980-е годы на порядок превышали показатели периода наивысшего подъёма экономики Российской империи (1913). В настоящее время такое превышение достигает 5 раз.

Южные моря<sup>1</sup> (Каспийское, Азовское и Чёрное) играли наиболее значимую роль в рыбном хозяйстве страны до первой половины 1950-х годов [2, 4–14], они давали от 40 до 70% общего вылова (рис. 2). Волжско-Каспийский бассейн в целом обеспечивал до 60% отечественной рыбодобычи.

Вторым по значимости для населения страны считался Северный рыбохозяйственный бассейн, хотя общие уловы здесь были относительно невелики. В 1880–1913 гг. среднегодовой уровень морского прибрежного промысла на Мурмане не превышал 10 тыс. т [7].

Рыбопромысловый потенциал России значительно вырос в ходе освоения Камчатки, в реки которой заходили огромные скопления тихоокеанских лососей: горбуши, кеты, нерки, кижуча и чавычи [2, 4, 5]. Малочисленное аборигенное население добывало рыбу и морских млекопитающих довольно примитивными способами. С целью заготовки впрок её квасили в ямах, делали юколу, коптили. Заметную роль играл в этом районе промысел морских котиков, мех которых высоко ценился (только в 1880–1892 гг. около Командорских и Тюленьего островов было добыто более 580 тыс. их шкур). Большое развитие в Охотском, Беринговом и Чукотском

<sup>1</sup> В контексте данной статьи бывшее рыбохозяйственное значение Аральского моря не рассматривается.

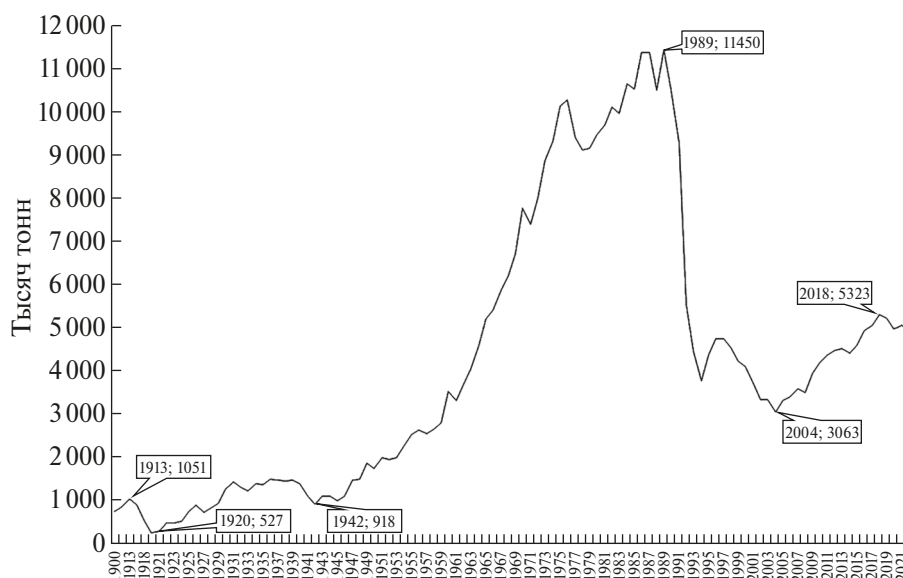


Рис. 1. Объёмы отечественной добычи водных биоресурсов

морях получила практически нерегулируемая добыча китов. Наибольшую активность проявляли американские китобои, в 1850–1884 гг. более 2.3 тыс. их шхун широко практиковали незаконный морской промысел и меновую торговлю в российских территориальных водах.

Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн на рубеже XIX–XX столетий давал около 100 тыс. т вылова [7]. Наибольшее развитие получил прибрежный промысел тихоокеанских лососей и сельди. Японский рыбопромышленный капитал здесь значительно преобладал над российским. Почти весь сбыт продукции также был ориентирован на японский рынок. К началу XX в. русские рыбопромышленники только на Сахалине добывали около

20 тыс. т рыбы. Аборигенное и пришлое население Камчатки после её присоединения к России ещё длительное время промыслило рыбу преимущественно для собственных нужд. В 1882–1895 гг. учтённый вылов в Охотско-Камчатском рыбопромысловом районе находился в пределах 5.5–9.1 тыс. т, а в 1899–1900 гг. — 2.1–7.2 тыс. т. Во второй половине XIX в. немало внимания уделялось морской капусте. Благодаря экономически эффективным мерам регулирования её промысла в заливах Петра Великого (Приморье) и Анива (Сахалин), в 1890–1896 гг. средний объём добычи превышал 5 тыс. т, а казна получала более 150 тыс. руб. Одновременно шло освоение новых объектов промысла — трепанга, краба, креветки [4, 15].

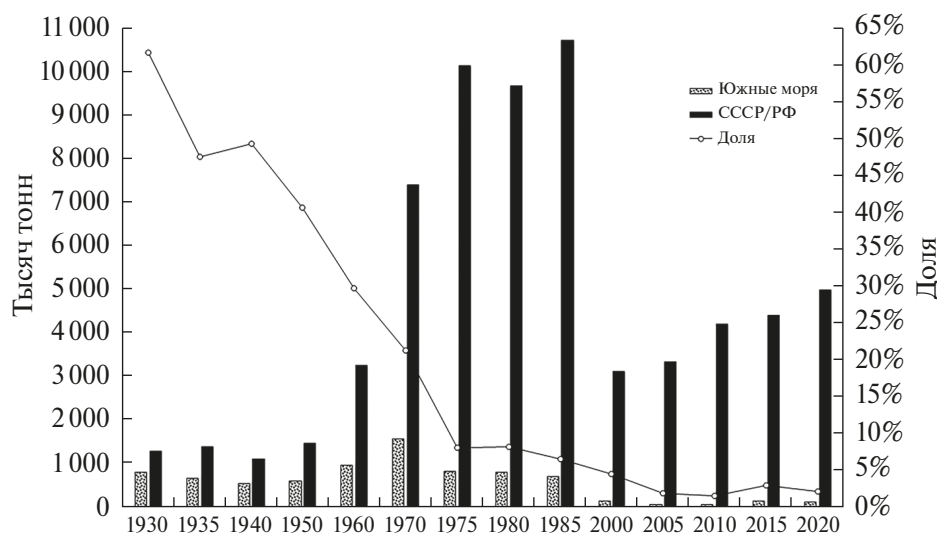


Рис. 2. Вклад южных морей в отечественный вылов морепродуктов

Несмотря на довольно высокие показатели вылова, практически до окончания Второй мировой войны Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн играл незначительную роль в обеспечении населения нашей страны рыбопродукцией, так как основную часть вылова отправляли за рубеж. Такое положение дел было обусловлено в том числе условиями многочисленных концессионных соглашений, заключённых советским правительством после октября 1917 г. [16].

В начале XX столетия общая стоимость отечественной рыбодобычи оценивалась в 140 млн руб. В рыбном хозяйстве (включая сетевязальные фабрики, бондарное производство и судостроение) было занято около 200 тыс. постоянных рабочих и примерно 400 тыс. сезонных [4]. В таблице 1 приведена динамика уловов по районам рыболовства.

До начала 1960-х годов во всех рыбохозяйственных бассейнах определяющую роль играл прибрежный промысел (только в Каспийском бассейне в нём было задействовано более 100 тыс. человек [17]). Он характеризовался невысокой производительностью труда и большими трудозатратами.

На рубеже 1950–1960-х годов с географической точки зрения в отечественной рыбодобыче начались

существенные изменения. Они были обусловлены следующими основными причинами.

Во-первых, в период Великой Отечественной войны резко сократился промысел в бассейнах Азовского (рис. 3), Чёрного и Баренцева морей. Одновременно значительно увеличился промысловый пресс на водные биоресурсы Каспийского моря и внутренние водоёмы Сибири [18]. Если в предвоенные годы на Каспии за сезон обычно добывали около 250–300 тыс. т воблы (рис. 4) и около 70 тыс. т сельди (рис. 5), то в 1941–1946 гг. объёмы их добычи возросли, соответственно, до 350–450 тыс. т и 130–155 тыс. т [2, 19–22]. Как следствие, запасы этих и некоторых других значимых промысловых видов существенно сократились [23]. Добычу осетровых рыб в военные годы, напротив, снизили примерно в 4–8 раз, по сравнению со смежными предвоенным и послевоенным периодами [22, 24]. Увеличение объёмов рыбопродукции достигалось за счёт преимущественного освоения массовых и относительно менее ценных промысловых объектов.

Во-вторых, с середины 1950-х годов развернулось масштабное гидростроительство на Волге, Дону и других реках, впадающих в Каспийское и Азовское моря. С 1961 г. сток Волги зарегулировали. Это при-

Таблица 1. Объёмы добычи водных биоресурсов

| Район              | 1863 г. |    | 1893 г. |     | 1913 г. |      |
|--------------------|---------|----|---------|-----|---------|------|
|                    | тыс. т  | %  | тыс. т  | %   | тыс. т  | %    |
| Каспийский         | 192     | 48 | 491.2   | 46  | 663     | 56.5 |
| Азово-Черноморский | 64      | 16 | 86.4    | 8   | 32.8    | 2.8  |
| Мурманский         | 17      | 4  | 19.2    | 2   | 20.2    | 1.7  |
| Дальневосточный    | —       | —  | 24.0    | 2,4 | 172.6   | 14.7 |

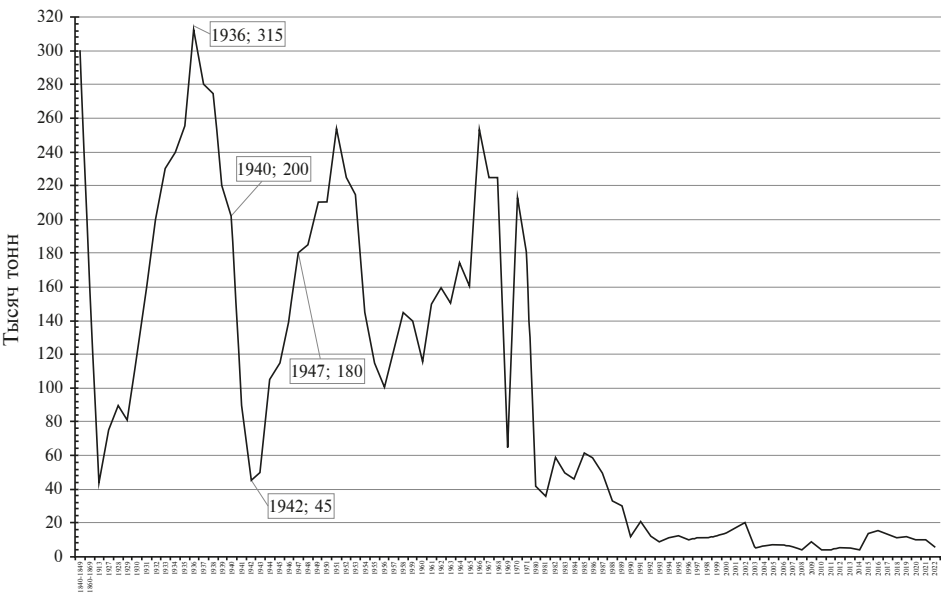


Рис. 3. Отечественный вылов в бассейне Азовского моря



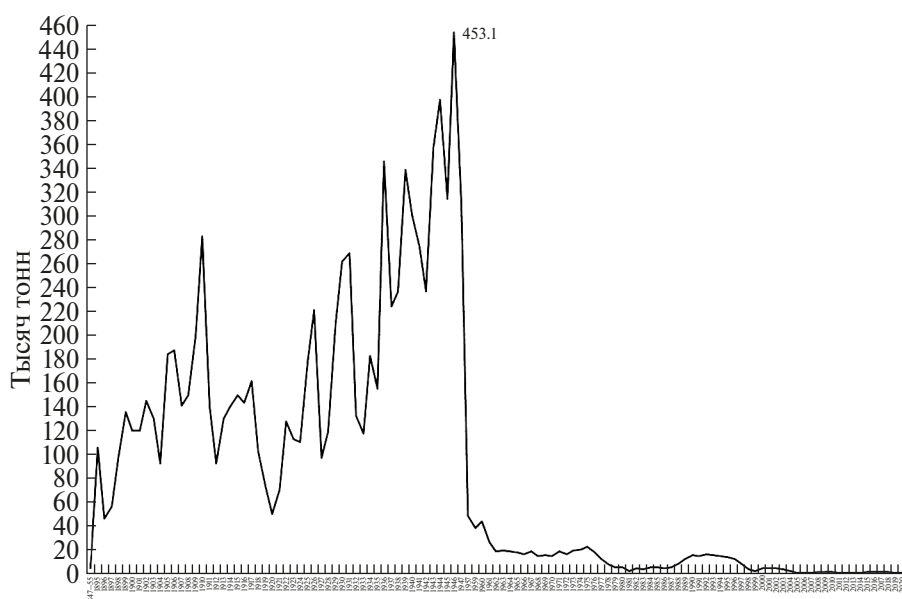


Рис. 4. Отечественный вылов воibly в Каспийском бассейне

вело к тому, что для проходных и полупроходных видов рыб, запасы которых пребывали в депрессивном состоянии из-за перелова, недоступными оказались многие районы естественных пресноводных нерестилищ [25]. Довольно скоро наиболее ценные гидробионты утратили рыбохозяйственную значимость. Ресурсный потенциал Каспийского бассейна (прежде всего по проходным и полупроходным видам рыб), а также общая рыбохозяйственная значимость южных морей Советского Союза существенно снизились.

В последующие годы относительно высокий уровень объёмов добычи в южных морях старались поддерживать за счёт развития промысла малоценных морских мелкосельдевых рыб, что ещё более осложняло существование ценных хищных видов рыб. На Каспии в 1960–1980-х годах вылавливали от 130 до 450 тыс. т кильки, при этом объёмы добычи осетровых рыб и воibly доходили до 25–26 тыс. т, составляя до середины 1990-х годов не менее 10 тыс. т [22]. В Азово-Черноморском бассейне в 1980-е годы добывали 140–180 тыс. т хамсы и 40–75 тыс. т шпрота. Для сравнения: в 1920–1930-е годы уловы хамсы здесь составляли от 2.5 до 51 тыс. т [8, 11–14].

За возможность получения дополнительных объёмов электроэнергии государство заплатило непомерную цену. По прошествии 50–60 лет можно наблюдать, с одной стороны, катастрофические изменения в экосистемах Волжско-Каспийского и Азово-Донского бассейнов, с другой стороны, деградацию значительной части промышленных предприятий, ради электроснабжения которых осуществлялись столь пагубные преобразования природы. Дополнительное негативное влияние на рыболовство в южных морях оказало также ухудшение их

экологического состояния, обусловленное изменениями уровня Каспийского моря, изъятием стока на хозяйственные нужды, добычей углеводородов, неконтролируемым применением удобрений и пестицидов в сельском хозяйстве.

В-третьих, напряжённая международная обстановка и растущие геополитические амбиции страны требовали расширения географического присутствия советского флага в Мировом океане. Значимую лепту в решение этой задачи вносило развитие океанического рыболовства на большом удалении от своих портов [2]. Суда Министерства рыбного хозяйства СССР участвовали в решении важных геополитических задач, демонстрируя присутствие флага страны в стратегически значимых регионах планеты, а также играли существенную роль в обеспечении потребностей военно-морского флота. Активизация морской отечественной рыбодобычи началась ещё в 1930-е годы, новый импульс она получила в послевоенный период. Уже к концу 1940-х годов объёмы морских уловов превысили объёмы вылова во внутренних водоёмах страны (включая Каспийское море). Решающие перемены пришли на 1960-е годы [2, 5, 7, 10].

Выбор океанического рыболовства в качестве основного рыбохозяйственного приоритета сопровождался весьма динамичным наращиванием судовых мощностей, способных осуществлять не только добычу водных биоресурсов, но и их переработку. За два десятка лет, с 1960 по 1980 г., численность крупнотоннажного флота увеличилась с 80 до 829 судов. Одновременно количество среднетоннажных судов, автономность плавания которых ориентирована на работу в своей исключительной экономической зоне (ИЭЗ) и прибрежных районах, сократили

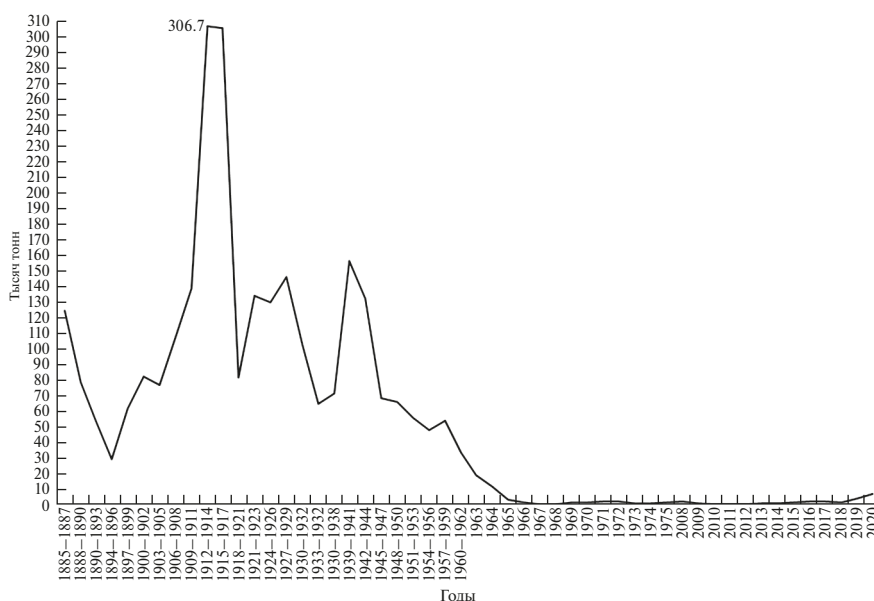


Рис. 5. Отечественный вылов сельди в Каспийском бассейне

с 1.5 до 0.8 тыс.<sup>2</sup> Для сравнения: в 2008 г. в России насчитывалось 211 крупнотоннажных и почти 900 среднетоннажных судов, причём возраст более 80% добывающих судов превышал нормативные сроки эксплуатации [26].

Если в 1950 г. средняя отдалённость районов промысла от портов приписки судов составляла около 200 миль, то в 1965 г. — 2 700 миль, а на заключительном этапе рыбодобычи советского периода превысила 5 000 миль [27]. Существенно увеличивалось время перехода судов в районы промысла, а экономические показатели отрасли в целом снижались. Рыболовство за пределами своей ИЭЗ не сочеталось с принципами экономической целесообразности. Тем не менее и в последние годы существования Советского Союза деятельность Минрыбхоза СССР была сконцентрирована на преимущественном развитии рыболовства именно в отдалённых районах Мирового океана. Экспедиционный океанический промысел финансировали по потребности [28]. На развитие прибрежного рыболовства и аквакультуры средства выделяли по остаточному принципу.

Обеспечение населения дешёвой белковой продукцией декларировали как главный целевой приоритет рыбного хозяйства СССР, но, по-видимому, присутствие рыбопромыслового флота в Мировом океане не было ограничено рамками собственно рыболовства. Скорее всего, здесь основную роль играли геополитические амбиции. Следует также учитывать стремление Минрыбхоза СССР к наращиванию валовых показателей добычи.

По мере развития океанического рыболовства многие отечественные береговые рыбохозяйствен-

ные предприятия утрачивали былое значение, а жители массово покидали прибрежные населённые пункты. Наиболее рельефно такие тенденции проявились на Дальнем Востоке, заселение которого активно стимулировали в течение всего советского периода.

В 1970–1980-е годы для обеспечения рыбопродукцией населения страны государство ежегодно выделяло 2–5 млрд руб. на покрытие разницы между себестоимостью добычи и установленными розничными ценами на продукцию [2]. Значительную часть уловов из отдалённых районов Мирового океана формально в долг (заведомо невозвратный) направляли странам Африки и Латинской Америки, провозгласившим некапиталистический путь развития.

К середине 1980-х годов океаническое рыболовство обеспечивало более 90% общесоюзной добычи водных биоресурсов (рис. 6). В настоящее время этот показатель составляет около 97% общероссийской добычи.

В-четвёртых, благодаря масштабным морским научным исследованиям удалось существенно расширить представления о ресурсном потенциале Охотского и Берингова морей, а также о продуктивных районах открытой части Мирового океана и прибрежных акваторий некоторых государств [5]. Если до конца 1950-х годов основные объёмы отечественного морского вылова приходились на воды Атлантического океана, то начиная с 1960-х годов наиболее значимую роль в обеспечении валовых показателей стал играть тихоокеанский бассейн. Постепенно наращивали объёмы добычи минтая, ставшего теперь одним из наиболее значимых объектов не только российской, но и мировой рыбодобычи.

<sup>2</sup> <https://fishnews.ru/news/48210>

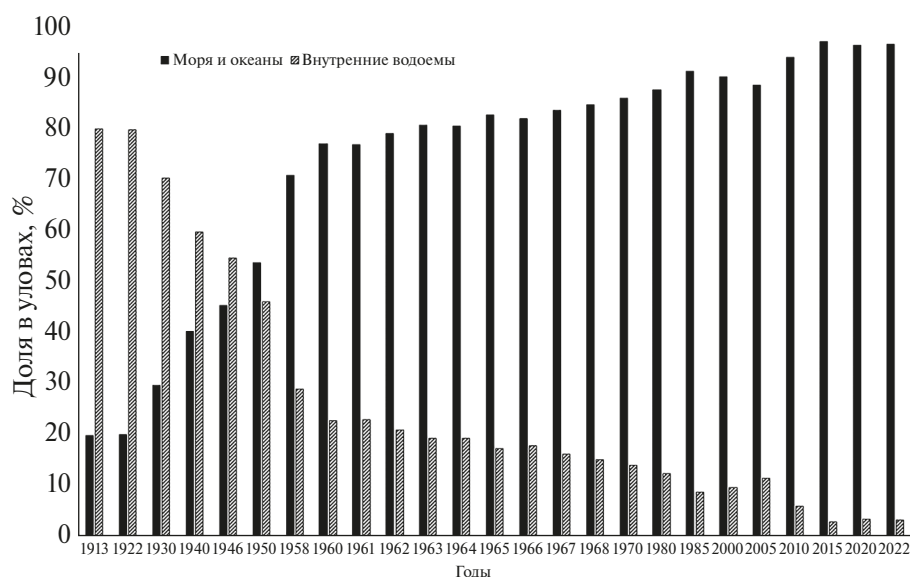


Рис. 6. Распределение отечественного вылова по годам

Соотношение основных промысловых объектов в отечественном рыболовстве со временем значительно менялось (рис. 7). С конца 1930-х годов доля пресноводных видов рыб в общероссийском вылове снизилась в 10 раз, с 30 до 3%. Доля минтая, напротив, увеличилась почти в 80 раз, с 0.5 до 39%. Объёмы добычи традиционных массовых объектов промысла (лососёвые, камбаловые, сельдь, треска) изменялись в зависимости от флуктуаций их численности и биомассы.

После развала Советского Союза и резкого падения экономической мощи страны поддержка присутствия отечественного флага в отдалённых районах Мирового океана утратила приоритетное значение<sup>3</sup>. Практически весь российский рыбохозяйственный флот передислоцировался в свою ИЭЗ. Несмотря на многочисленные попытки управленцев снизить здесь концентрацию рыбодобывающих судов, именно российская ИЭЗ обеспечивает около 90% отечественной добычи водных биоресурсов. Более 80% вылова приходится на Охотское и Берингово моря (рис. 8). В целом около 70% российских уловов получают в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне, около 10% — в Северном, около 2% — в Волго-Каспийском, около 1% — в Азово-Черноморском, остальные 17% — в других рыбохозяйственных бассейнах страны и за пределами российской исключительной экономической зоны.

**Основные результаты пользования водными биоресурсами.** Помимо удовлетворения пищевых по-

требностей пользование водными биоресурсами формировало предпосылки для освоения и заселения новых территорий, совершенствования способов добычи и переработки гидробионтов, развития научных рыбохозяйственных исследований, стимулировало судостроение, стало излюбленным и массовым видом отдыха. По мере расширения районов океанического рыболовства пользование водными биоресурсами приобрело важное значение в расширении межгосударственных связей и обеспечении геополитических интересов страны.

Закон о рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов от 20.12.2004 № 166-ФЗ определяет следующие виды рыболовства: 1) промышленное; 2) прибрежное; 3) рыболовство в научно-исследовательских и контрольных целях; 4) в учебных и культурно-просветительских целях; 5) в целях аквакультуры (рыбоводства); 6) любительское рыболовство; 7) рыболовство в целях обеспечения ведения традиционного образа жизни и осуществления традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации. Различные виды рыболовства предполагают разные подходы к пользованию водными биоресурсами.

Главный приоритет промышленного рыболовства — наличие эффективного добывающего и перерабатывающего флота со значительной автономностью плавания. Такая основа позволяет не только достигать определённых экономических показателей, но и обеспечивать устойчивое присутствие государственного флага в Мировом океане. Развитие океанического рыболовства напрямую связано с укреплением промышленного потенциала и ростом геополитических амбиций нашей страны. Однако

<sup>3</sup> Вслед за нашей страной почти все ведущие рыбодобывающие страны (прежде всего Япония — лидер мирового рыболовства в 1970–1980-х годах) резко сократили промысловую активность на значительном удалении от своих берегов.



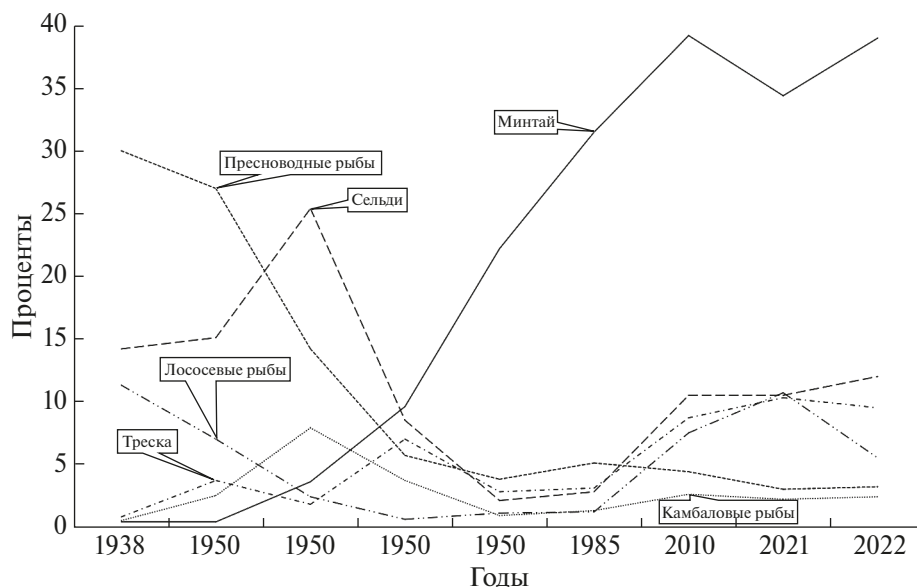


Рис. 7. Доля основных промысловых рыб в отечественных уловах

такой подход, как было отмечено выше, сопровождался существенным сокращением береговой переработки и общих возможностей прибрежного рыболовства, негативно сказывался на состоянии окраинных приморских территорий в целом.

Прибрежное рыболовство способствует развитию приморских районов. Наличие одного человека, занятого ловом, предопределяет появление 5–10 рабочих мест в сопутствующих отраслях (переработка, орудия лова, тара, судоремонт и т.п.). Рыбохозяйственная деятельность инициирует формирование социальной инфраструктуры и дополнительной занятости. Развитие прибрежного рыболовства сопровождается увеличением численности населения и усилением государственного присутствия на окраинных приморских территориях.

Наиболее значимую роль в прибрежном рыболовстве играли лососёвый и сельдевый промыслы. С начала XXI столетия запасы тихоокеанских лососей российского происхождения находятся выше среднего исторического уровня, составившего за примерно вековой период около 250 тыс. т [29]. В 2023 г. добыто более 600 тыс. т. Объёмы вылова тихоокеанской сельди в последнее время превышают 400 тыс. т [30]. Казалось бы, такие предпосылки должны способствовать увеличению занятости местных жителей и позитивно сказываться на общей ситуации в прибрежных поселениях, однако в реальности этого не происходит.

Одна из задач Концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации до 2020 г., принятой в 2003 г., предусматривала *разработку государствен-*

Отечественный вылов в морях (2002–2020 гг.)

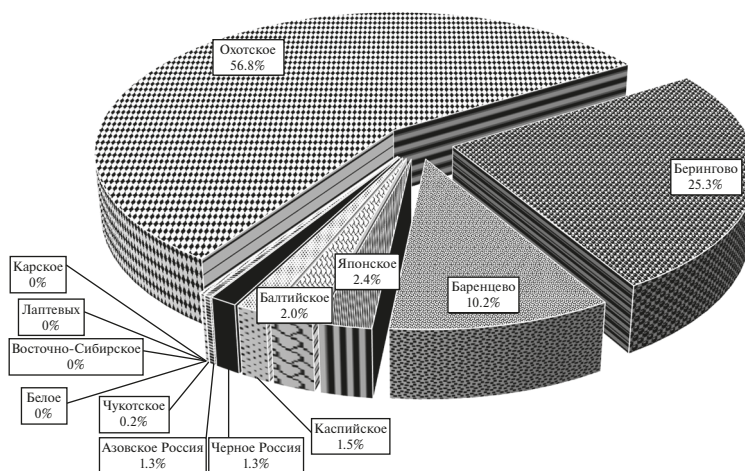


Рис. 8. Отечественный вылов в морях (2002–2020 гг.)

ной социальной стратегии в области рыбохозяйственного комплекса, обеспечивающей оптимальную занятость и доходы населения в субъектах Российской Федерации, территории которых прилегают к морскому побережью. В 2008 г. при распределении рыбопромысловых (в новой редакции — рыболовных) участков для добычи лососей одним из условий обозначили необходимость развития береговой переработки в местах промысла. Действительно, за последующие 10–15 лет на Дальнем Востоке произошёл значительный количественный и качественный рост перерабатывающих предприятий. Однако подавляющее большинство новых мощностей было возведено вне существующих населённых пунктов. Для добычи тихоокеанских лососей и их переработки работников преимущественно завозят из других регионов. Это позволяет рыбопромышленникам существенно сокращать издержки, поскольку сезонным рабочим не надо обеспечивать социальные гарантии в межпутинный период. При высокой численности тихоокеанских лососей и бурном развитии береговой переработки местное население Дальнего Востока России в значительной степени оказалось невостребованным в легальной рыбохозяйственной деятельности.

Дальневосточная инфраструктура, ориентированная на прибрежную добычу и береговую переработку тихоокеанской сельди, почти полностью деградировала. Преобладает судовой траловый промысел, при котором рыба сильно деформируется. Поэтому лишь незначительная часть уловов сельди оказывается пригодной для производства качественной пищевой продукции.

За весь постсоветский период государство не только не определило приоритеты пользования своей собственностью — водными биологически-

ми ресурсами, но и не предприняло никаких мер, стимулирующих ведение промысла наиболее рациональными способами. Так, из пяти стран, управляющих запасами атлантической сельди, только в России осуществляют траловый лов, что самым негативным образом сказывается на качестве и стоимости продукции. Выловленная рыба годится в основном лишь для приготовления муки. Норвегия, страны Евросоюза, Исландия и Фарерские острова добывают сельдь кошельками, производя в итоге отличную пищевую продукцию. В основных российских районах потребления дальневосточную сельдь вытеснила импортируемая атлантическая.

Пользование водными биоресурсами в России практически полностью передано частным компаниям, которые по своему усмотрению решают вопросы, связанные с развитием флота, техническими параметрами, стоимостью и условиями реализации производимой продукции, трудовой занятостью жителей прибрежных поселений, социальным развитием самих поселений и т.п. Наиболее выраженными последствиями неэффективного государственного управления водными биоресурсами являются:

- значительный износ рыбопромыслового флота;
- несоответствующие покупательной способности основной части населения цены на рыбопродукцию;
- прогрессивный рост экспорта, притом, что стоимость экспортируемой отечественной продукции существенно ниже среднемировой (рис. 9);
- сокращение занятости жителей приморских поселений в рыбохозяйственной деятельности и рост безработицы, активное замещение местных трудовых ресурсов сезонными работниками, в том числе иностранными;

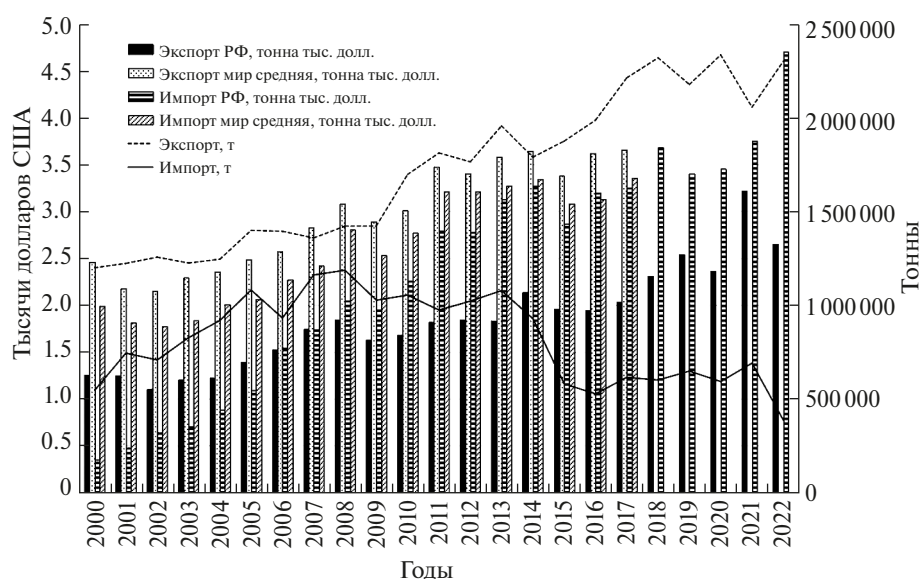


Рис. 9. Экспорт и импорт рыбопродукции в России по годам

- деградация населённых пунктов окраинных территорий, имеющих важное геополитическое значение для нашей страны.

**Количественные оценки потенциальных возможностей дальнейшего увеличения продукции российского рыболовства.** С течением времени значимость одних объектов рыболовства может снижаться, а других, напротив, возрастать. Причём одни и те же объекты на протяжении относительно коротких временных отрезков могут приобретать и утрачивать промысловое значение. В качестве одного из наиболее показательных примеров можно привести лососёвых и осетровых рыб Каспийского бассейна, промышленный вылов которых теперь запрещён. Воблу и каспийскую сельдь до второй половины XIX в. считали сорными рыбами, а затем более столетия именно они входили в группу наиболее значимых объектов отечественного рыболовства. В настоящее время запасы этих видов находятся в глубочайшей депрессии. Минтай, определяющий ключевые валовые показатели современного рыбного хозяйства России, до 1960-х годов вообще не рассматривали в качестве промыслового вида. Примерно до второй половины 1980-х годов основную часть его вылова использовали в качестве корма в пушном звероводстве. Широко развитая на Севере СССР сеть звероводческих хозяйств выступала в качестве серьёзного потребителя рыбопродукции. С распадом СССР почти все такие хозяйства исчезли, а минтай и ряд других гидробионтов приобрели значение ценных промысловых объектов.

По-видимому, именно наши соотечественники дольше населения других рыбодобывающих стран отказывались признавать в качестве пищевых объектов падальщиков (крабов, креветок, трубачей) и фильтраторов (мидий и устриц). Теперь перечисленные объекты также активно востребованы промыслом.

В последние годы суммарные объёмы отечественной добычи водных биоресурсов (с учётом аквакультуры) составляют около 5 млн т. Для действенного планирования развития рыбного хозяйства России крайне важно адекватно оценивать дальнейшие возможности пользования гидробионтами.

Вопреки активно тиражируемому различными международными организациями тезису о том, что мировое рыболовство достигло пределов роста [1], нами было обосновано альтернативное утверждение о том, что ресурсный потенциал Мирового океана позволяет при необходимости существенно нарастить объёмы добычи водных биоресурсов естественного происхождения [3]. Для России, начавшей масштабное обновление рыбопромыслового флота путём строительства его на отечественных верфях, очень важно предусмотреть его надлежащую загрузку, как минимум, на ближайшие 25–30 лет. В качестве наиболее обсуждаемых перспективных массовых объектов рыболовства традиционно называют

антарктический криль, мезопелагические рыбы и кальмары. Опубликованные научные оценки возможного их вылова составляют десятки и даже сотни миллионов тонн, что позволяет говорить о потенциале кратного увеличения показателей мирового рыболовства. Однако на пути практического освоения этих гидробионтов российскими рыбаками лежит ряд препятствий [3].

“Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса на период до 2030 года”, утверждённая распоряжением Правительства РФ от 26.11.2019 г. № 2798-р, ориентирует отечественное рыболовство на дополнительные объёмы вылова до 1 млн т по сравнению с текущими показателями. Как следует из правительственного документа, в исключительной экономической зоне Российской Федерации за счёт традиционных объектов промысла можно увеличить отечественные уловы примерно на 750–800 тыс. т.

Такие параметры — не предел возможного роста. Результаты научных исследований свидетельствуют о том, что только в дальневосточных морях и северо-западной части Тихого океана российское рыболовство можно ориентировать на добычу от 18 до 29 млн т [31]. Приведённые значения примерно в 5 раз превышают современные показатели. Даже если упомянутые научные обоснования кто-то сочтёт завышенными, при надлежащем государственном управлении водными биоресурсами потенциал отечественного рыболовства позволяет в полной мере обеспечить загрузку всех рыболовных судов, которые должны быть построены на российских верфях в рамках действующих проектов с условным названием “квоты под киль”.

**Роль отечественной аквакультуры в пользовании водными биоресурсами.** На протяжении всей отечественной истории пользования водными биоресурсами объёмы производства аквакультурной продукции значительно уступали объёмам продукции рыболовства. В СССР максимальные объёмы производства аквакультуры достигали почти 350 тыс. т [2]. С 1973 по 1987 г. ежегодное их увеличение составляло около 17%, темпы прироста превышали среднемировые показатели. При сохранении таких тенденций в настоящее время объёмы товарного выращивания могли бы достичь 2–2.5 млн т.

Согласно сведениям Федерального агентства по рыболовству за 2022 г., в аквакультуре было произведено 383.5 тыс. т водных биоресурсов. При этом, по данным АИС АГРОСТАТ, объёмы реализуемой товарной продукции составили лишь 139 тыс. т. По-видимому, именно такое значение отражает действительный уровень производства товарной продукции, доступной для потребителя. Более подробно ситуация в отечественной аквакультуре рассмотрена в других наших работах [32–34].

Распоряжением Правительства РФ от 08.09.2022 № 2567-р утверждена “Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплек-



сов Российской Федерации на период до 2030 года”. Она ориентирует рыбную отрасль на увеличение объёмов аквакультурной продукции к этому сроку до 618 тыс. т. Однако, учитывая сложившуюся ситуацию с кормами и другие факторы, более реалистичным выглядит прогноз Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО), согласно которому к 2030 г. объёмы российской рыболовной продукции достигнут 368 тыс. т [1].

С учётом значительного ресурсного потенциала развития отечественного рыболовства вряд ли следует ожидать существенного изменения той роли, которую традиционно играет отечественная аквакультура в пользовании водными биоресурсами. По-видимому, вклад товарного рыболовства в общее производство рыбопродукции в обозримой перспективе не будет превышать 10%.

### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН № 122020100328-1.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. На пути к “голубой” трансформации. Рим, ФАО. 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0461ru>
2. *Макоедов А.Н., Кожемяко О.Н.* Основы рыбохозяйственной политики. М.: Нацрыбресурс, 2007.
3. *Макоедов А.Н., Матишов Г.Г., Пономарёва Е.Н.* Мировые тенденции пользования водными биоресурсами // Вестник. РАН. 2023. № 2. С. 179–190.
4. *Мандрик А.Т.* История рыбной промышленности российского Дальнего Востока (50-е годы XVII в. – 30-е годы XX в.). Владивосток: Дальнаука, 1994.
5. Рыбное хозяйство России. М., 2005.
6. *Аверкиев Ф.В.* Сборник статистических сведений об уловах рыб и нерыбных объектов в Азово-Черноморском бассейне за 1927–1959 гг. // Труды АЗНИИРХ. 1960. Т. 1. Вып. 2. Ростов-на-Дону.
7. *Моисеев П.А.* Биологические ресурсы Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 1989.
8. *Матишов Г.Г., Балыкин П.А., Лужняк В.А.* Водные биоресурсы Азово-Черноморского бассейна, их использование и изучение // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона. Материалы VII Международной конференции. 2012. С. 15–21.
9. *Матишов Г.Г., Балыкин П.А., Пономарёва Е.Н.* Рыболовство и аквакультура России // Вестник РАН. 2012. № 1. С. 35–49; *Matishov G.G., Balykin P.A., Ponomareva E.N.* Russia’s Fishing Industry and Aquaculture // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2012. № 1. P. 55–62.
10. *Макоедов А.Н.* Научные основы рыболовства. М.: Медиа-М, 2015.
11. *Фащук Д.Я., Куманцов М.И.* Рыбный промысел Советской России и СССР в Чёрном море в первой половине XX века // Изв. РАН. Сер. географическая. 2017. №1. С. 147–160.
12. *Фащук Д.Я., Куманцов М.И.* Рыболовство СССР в Чёрном море во второй половине XX века: период расцвета (1950–1988) // Изв. РАН. Сер. географическая. 2018. № 2. С. 86–102.
13. *Фащук Д.Я.* Биоресурсный потенциал Чёрного моря и его освоение отечественным промыслом в XX–XXI вв. // Вестник РАН. 2019. № 11. С. 1105–1119.
14. *Балыкин П.А., Пономарёва Е.Н., Сорокина М.Н.* Состояние морского рыболовства и аквакультуры южных регионов России // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Материалы XIII Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский, 2022. С. 77–81.
15. *Мандрик А.Т.* История рыбной промышленности Дальнего Востока (1927–1940 гг.). Владивосток: Дальнаука, 2000.
16. Иностранные концессии в отечественном рыбном хозяйстве (1920–1930-е гг.): Документы и материалы. Серия “Отечественный опыт концессий”. Т. 1. М.: Современная экономика и право, 2003.
17. *Коробочкина З.С.* Основные этапы развития промысла осетровых в Каспийском бассейне // Труды ВНИРО. 1964. Т. 51. С. 59–86.
18. *Колончин К.В., Серёгин С.Н., Закшевская Е.В., Богачёв А.И.* Рыбный промысел во внутренних водоёмах: экономический и социальный аспекты развития // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве, 2021. № 9(78). С. 101–119.
19. *Махмудбеков А.А.* Состояние запасов и перспективы промысла сельдей на Каспии // Труды ВНИРО. 1972. Т. 83. С. 325–333.
20. *Казанчев Е.Н.* Сельди Каспийского моря, современное состояние их запасов и перспективы // Труды ВНИРО. 1975. Т. 108. С. 135–143.
21. *Водовская В.В., Шубина Л.И., Коноплёв Е.И.* Современное состояние запасов сельдей Каспия и перспективы их дальнейшего использования // Труды ВНИРО, 1978. Т. 131. С. 115–123.
22. *Иванов В.П., Комарова Г.В.* Рыбы Каспийского моря (систематика, биология, промысел). Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008.
23. *Земская К.А., Кузьмин А.Г.* О закономерностях воспроизводства полупроходных рыб Каспия // Труды ВНИРО. 1972. Т. 83. С. 54–71.

24. *Кожин Н.И.* Осетровые СССР и их воспроизводство // Труды ВНИРО. 1964. Т. 51. С. 21–58.
25. *Лукияненко В.И.* Влияние гидростроительства на воспроизводство промысловых рыб // Вестник АН СССР. 1989. № 12. С. 50–59.
26. *Храпов В.Е.* Современное состояние рыбопромыслового флота России: проблемы и перспективы // Вестник МГТУ. 2010. № 1. С. 154–157.
27. *Никоноров И.В.* Экология и рыбное хозяйство. М.: Экспедитор, 1996.
28. *Макоедов А.Н.* О перспективах российского рыболовства в отдалённых районах Мирового океана // Вопросы рыболовства. 2010. № 4. С. 625–631.
29. *Макоедов А.Н., Макоедов А.А.* Тихоокеанские лососи российского происхождения: на какие уловы рассчитывать? // Изв. ТИНРО. 2023. Т. 203. Вып. 1. С. 46–57.
30. Сведения об улове рыбы и добыче других водных биоресурсов за январь–декабрь 2022 года. 2023.
31. *Волвенко И.В.* Эколого-экономические оценки биоресурсов северной Пацифики и стратегии их использования // Изв. ТИНРО. 2022. Т. 202. Вып. 4. С. 970–991.
32. *Макоедов А.Н.* Основные тенденции развития аквакультуры // Вопр. рыболовства. 2006. № 3. С. 366–384.
33. *Макоедов А.Н.* Итоги реализации концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации до 2020 года // Изв. ТИНРО. 2022. Т. 202. Вып. 3. С. 719–736.
34. *Макоедов А.Н., Матишов Г.Г., Пономарёва Е.Н., Бердников С.В.* Аквакультура на юге России // Изв. ТИНРО. 2023. Т. 203. Вып. 2. С. 413–426.
8. *Matishov G.G., Balykin P.A., Luzhnyak V.A.* Aquatic biological resources of the Azov-Black Sea basin, their use and study // Modern fishery and environmental problems of the Azov-Black Sea region. Materials of the VII International Conference. 2012. pp. 15–21.
9. *Matishov G.G., Balykin P.A., Ponomareva E.N.* Russia's Fishing Industry and Aquaculture // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2012. № 1. P. 55–62.
10. *Makoev A.N.* Scientific foundations of fisheries. M.: Media-M, 2015.
11. *Fashchuk D.Ya., Kumantsov M.I.* Fishing of Soviet Russia and the USSR in the Black Sea in the first half of the twentieth century // Izv. RAS. Ser. geographical. 2017. No. 1. pp. 147–160.
12. *Fashchuk D.Ya., Kumantsov M.I.* Fisheries of the USSR in the Black Sea in the second half of the twentieth century: the heyday (1950–1988) // Izv. RAS. Ser. geographical. 2018. No. 2. P. 86–102.
13. *Fashchuk D.Ya.* Bioresource potential of the Black Sea and its development by domestic fisheries in the XX-XXI centuries. // Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk. 2019. No. 11. P. 1105–1119.
14. *Balykin P.A., Ponomareva E.N., Sorokina M.N.* The state of marine fisheries and aquaculture in the southern regions of Russia // Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use. Materials of the XIII National (All-Russian) scientific and practical conference. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2022. pp. 77–81.
15. *Mandrik A.T.* History of the fishing industry of the Far East (1927–1940). Vladivostok: Dalnauka, 2000.
16. Foreign concessions in the domestic fisheries (1920–1930s): Documents and materials. Series “Domestic experience of concessions”. Т. 1. М.: Modern economics and law, 2003.
17. *Korobochkina Z.S.* The main stages of development of the sturgeon fishery in the Caspian basin // Proceedings of VNIRO. 1964. Т. 51. P. 59–86.
18. *Kolonchin K.V., Seregin S.N., Zakshevskaya E.V., Bogachev A.I.* Fishing in inland waters: economic and social aspects of development // Economics, labor, management in agriculture, 2021. No. 9(78). pp. 101–119.
19. *Makhmudbekov A.A.* State of stocks and prospects for herring fishing in the Caspian // Proceedings of VNIRO. 1972. Т. 83. P. 325–333.
20. *Kazanchev E.N.* Herring of the Caspian Sea, the current state of their reserves and prospects // Proceedings of VNIRO. 1975. Т. 108. pp. 135–143.
21. *Vodovskaya V.V., Shubina L.I., Konoplev E.I.* Current state of Caspian herring reserves and prospects for their further use // Proceedings of VNIRO, 1978. Т. 131. pp. 115–123.
22. *Ivanov V.P., Komarova G.V.* Fishes of the Caspian Sea (systematics, biology, fishing). Astrakhan: ASTU Publishing House, 2008.

## LITERATURE

1. State of world fisheries and aquaculture. On the way to a “blue” transformation. Rome, FAO. 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0461>.
2. *Makoev A.N., Kozhemyako O.N.* Fundamentals of fisheries policy. M.: Natsrybresurs, 2007.
3. *Makoev A.N., Matishov G.G., Ponomareva E.N.* World Trends in the Use of Aquatic Biological Resources // Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk, 2023, Vol. 93, No. 2, pp. 179–190.
4. *Mandrik A.T.* History of the fishing industry of the Russian Far East (50s of the 17<sup>th</sup> century – 30s of the 20th century). Vladivostok: Dalnauka, 1994.
5. Fisheries in Russia. M., 2005.
6. *Averkiev F.V.* Collection of statistical information on catches of fish and non-fish objects in the Azov-Black Sea basin for 1927–1959. // Proceedings of AzNIIRH. 1960. Т. 1. Issue. 2. Rostov-on-Don.
7. *Moiseev P.A.* Biological resources of the World Ocean. M.: Publishing house VNIRO, 1989.

23. *Zemskaya K.A., Kuzmin A.G.* On the patterns of reproduction of semi-anadromous fish of the Caspian // *Proceedings of VNIRO*. 1972. T. 83. pp. 54–71.
24. *Kozhin N.I.* Sturgeons of the USSR and their reproduction // *Proceedings of VNIRO*. 1964. T. 51. P. 21–58.
25. *Lukyanenko V.I.* The influence of hydraulic construction on the reproduction of commercial fish // *Bulletin of the USSR Academy of Sciences*. 1989. No. 12. P. 50–59.
26. *Khrapov V.E.* Current state of the Russian fishing fleet: problems and prospects // *Bulletin of MSTU*. 2010. No. 1. P. 154–157.
27. *Nikonorov I.V.* Ecology and fisheries. M.: Forwarder, 1996.
28. *Makoedov A.N.* On the prospects of Russian fisheries in remote areas of the World Ocean // *Questions of Fisheries*. 2010. No. 4. P. 625–631.
29. *Makoedov A.N., Makoedov A.A.* Russian Pacific Salmon: What Catches May We Expect? // *Russian Journal of Marine Biology*, 2023, Vol. 49, No. 7, pp. 579–586.
30. Information on fish catch and production of other aquatic biological resources for January–December 2022. 2023.
31. *Volvenko I.V.* Ecological and economic assessments of biological resources of the northern Pacific and strategies for their use // *Izv. TINRO*. 2022. T. 202. Issue. 4. pp. 970–991.
32. *Makoedov A.N.* Main trends in the development of aquaculture // *Issues. fisheries* 2006. No. 3. P. 366–384.
33. *Makoedov A.N.* Results of the implementation of the concept of development of fisheries in the Russian Federation until 2020 // *Izv. TINRO*. 2022. T. 202. Issue. 3. pp. 719–736.
34. *Makoedov A.N., Matishov G.G., Ponomareva E.N., Berdnikov S.V.* Aquaculture in the south of Russia // *Izv. TINRO*. 2023. T. 203. Issue. 2. pp. 413–426.

## NATIONAL TRENDS IN THE USE OF AQUATIC BIORESOURCES

**A.N. Makoedov<sup>a,\*</sup>, G.G. Matishov<sup>a,\*\*</sup>, E.N. Ponomareva<sup>a,\*\*\*</sup>**

*<sup>a</sup>Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,  
Rostov-on-Don, Russia*

*\*E-mail: tomak06@mail.ru*

*\*\*E-mail: matishov\_ssc-ras@ssc-ras.ru*

*\*\*\*E-mail: kafayb@mail.ru*

The article examines the domestic trends in the use of aquatic biological resources for more than a century. Until the early 1950s, inland waters, primarily the Caspian and Azov Seas, played a key role. Total catch volumes did not exceed 2 million tons. Anthropogenic impact has led to global negative changes in the ecosystems of the south seas of our country. The fishery importance of inland reservoirs has significantly decreased. The active development of oceanic fishing in the 1960s and 1980s made it possible to increase the volume of extraction of aquatic biological resources to 10–11 million tons. Starting in 2018 Access to the use of aquatic biological resources largely depends on the involvement of domestic industrial companies in the construction of new ships at Russian shipyards. The proven reserves of even traditionally mined hydrobionts make it possible to fully ensure the fishing capacities of all vessels currently under construction and under design. The contribution of commercial fish farming to the total production of domestic fish products in the foreseeable future, apparently, will not exceed 10%.

*Keywords:* aquatic bioresources, fisheries, aquaculture, stock status.



---

---

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

---

---

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ СОЗДАНИЯ И СПУСКА ВОДОХРАНИЛИЩ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

© 2024 г. В.И. Данилов-Данильян<sup>a,\*</sup>, Н.М. Новикова<sup>a,\*\*</sup>, О.Г. Назаренко<sup>b,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

<sup>b</sup>Государственный центр агрохимической службы “Ростовский”,  
пос. Рассвет, Россия

\*E-mail: vidd38@yandex.ru

\*\*E-mail: nmnovikova@gmail.com

\*\*\*E-mail: nazarenkoo@mail.ru

Поступила в редакцию 01.03.2024 г.

После доработки 05.03.2024 г.

Принята к публикации 13.03.2024 г.

В статье рассматриваются экологические последствия сооружения водохранилищ — ответные реакции водных и наземных экосистем и их компонентов на изменения водного режима. Такие реакции зонально специфичны и зависят от вмещающего ландшафта. Особенно ярко они проявляются в степной зоне. Авторы систематизировали последствия, природные и антропогенные факторы, определяющие их эволюцию, меры минимизации негативных экологических последствий, которые прослеживаются от верхнего бьефа водохранилища до водоёма — приёмника стока реки, где располагается сооружение. Ввиду снижения биопродуктивности и биоразнообразия был поставлен вопрос о целесообразности спуска водохранилищ. В результате длительных дискуссий сформировалось мнение, что в настоящее время экологически оправдан спуск малых водохранилищ, которые утратили свою функцию либо остались бесхозными. При этом необходимо проводить специальные гидромелиоративные и фитомелиоративные мероприятия, направленные на стабилизацию гидрологической и экологической ситуации.

**Ключевые слова:** трансформация среды, водные экосистемы, экотонные экосистемы, биопродуктивность, биоразнообразие, верхний бьеф, нижний бьеф, затопление, заиление, засоление, гидроморфизм почв, растительность, фауна.

DOI: 10.31857/S0869587324040038, EDN: GFJFPX

Водохранилище — искусственный водный объект объёмом более 1 млн м<sup>3</sup> с замедленным водообменом, уровневый режим которого регулируется гидротехническими сооружениями, созданными для накопления воды в целях её хозяйственного исполь-

зования (и/или перехвата части стока половодий либо паводков с целью защиты от наводнений) [1]. Именно водохранилища позволяют осуществлять пространственно-временное регулирование водных ресурсов и становятся базовыми элементами



ДАНИЛОВ-ДАНИЛЬЯН Виктор Иванович — член-корреспондент РАН, научный руководитель ИВП РАН. НОВИКОВА Нина Максимовна — доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории динамики наземных экосистем под влиянием водного фактора ИВП РАН. НАЗАРЕНКО Ольга Георгиевна — доктор биологических наук, директор ГЦАС “Ростовский”.

гидротехнических и водохозяйственных систем. С их помощью решаются проблемы гидроэнергетики, водоснабжения промышленности, сельского хозяйства, ЖКХ, судоходства и т.д. В мире насчитывается более 30 тыс. крупных водохранилищ объёмом свыше 1 млн м<sup>3</sup>, в том числе около 2.5 тыс. — более 100 млн м<sup>3</sup> [2]. Малых и средних водохранилищ в сотни раз больше.

Влияние водохранилищ стало общепланетарным фактором: объём вод суши за счёт задержанной воды увеличился приблизительно на 6.6 тыс. км<sup>3</sup> [3, 4], что в 5 раз больше суммарного объёма воды в речной сети земного шара [5], таким образом происходит частичная компенсация естественного отрицательного водного баланса суши [6]. Количество осадочного материала, которое откладывается в водохранилищах, соизмеримо с речным твёрдым стоком, поступающим в океан [7]. При общей площади водного зеркала 400 тыс. км<sup>2</sup> обусловленные водохранилищами изменения природной среды произошли на 700 тыс. км<sup>2</sup>, а переустройство хозяйства — на 1.5 млн км<sup>2</sup> [8]. Создание водохранилищ относится к крупнейшим мероприятиям, меняющим природную среду в масштабе, соизмеримом с влиянием сельского хозяйства, урбанизации, гидромелиорации и добычи полезных ископаемых [9].

Один из немногих положительных антропогенных эффектов водохранилищ, как отметил С.Л. Вендров [10], заключается в увеличении почти вдвое меженного стока рек. Однако при этом продолжительность водообмена в реках, озёрах, речных бассейнах может отклоняться в неблагоприятную сторону, что ухудшает их способность к самоочищению и, соответственно, качество воды. Г.П. Калинин приблизительно определил, что уже к 1960 г. продолжительность водообмена в реках планеты удвоилась — с 20 до 40 суток [11]. К 1980-м годам, после почти полного зарегулирования Волги путём строительства каскада ГЭС и водохранилищ, водообмен в её бассейне замедлился в 8–10 раз [5]. Изменения ниже гидроузлов, в нижнем бьефе, обусловлены всё возрастающим безвозвратным изъятием и нарушением режима водного и гидрохимического стока. Искусственные водоёмы стали гигантскими отстойниками, в результате чего резко снижается сток взвешенных и растворённых веществ, в том числе минеральных, органических, биогенных и микроэлементов. Например, поступление твёрдых веществ в Каспийское море с Волжского бассейна уменьшилось более чем вдвое, биогенов и, особенно, фосфатов — в 3 раза. Сокращается поступление воды в устьевые области рек, крупные озёра и моря. Водохранилища стали причиной резкого увеличения потерь воды за счёт испарения, а также безвозвратного водопотребления в поддерживаемых ими водохозяйственных системах. По данным Г.В. Воропаева [12], уже к 1980-м годам приток пресных вод в Каспийское море снизился на 35–40 км<sup>3</sup> (почти

на 15%), в Азовское — на 13 км<sup>3</sup> (более чем на 30%), в Аральское — на 75–80 км<sup>3</sup> (на 70%). В настоящее время безвозвратные потери возросли во много раз и вызвали экологическую катастрофу Аральского моря и проблемы с Азовским морем [13].

Масштабные изменения режима, качества и пространственного распределения водных масс, переносимых ими потоков вещества объясняют не только прогнозируемые последствия, но и не менее значимые *экологические проблемы* — совокупность процессов трансформации природной среды и ответных реакций экосистем, природных комплексов и их компонентов. Сложность изучения и оценки экологических последствий обусловлена тем, что они, с одной стороны, развиваются скрытно, пока количественные параметры среды не достигают критических значений, что приводит к заметным сдвигам в биоте. С другой стороны, последствия следуют по цепочке трансформаций природных факторов и могут быть удалены от источника исходного воздействия, поэтому они долго не получали объективной оценки. Поначалу преимущественно рассматривались трансформации самих водохранилищ и территорий, непосредственно прилегающих к ним. Усилиями многих учёных [2, 3, 8, 9, 14–18] были изучены и оценены отдалённые в пространстве и времени процессы и явления в районах сокращения стока и его аккумуляции, а также пространственно-временные изменения экосистем самих водоёмов и их побережий.

Трансформации природных комплексов, классифицированные как негативные, потребовали разработки природоохранных мероприятий — подходов и методов, ослабляющих или компенсирующих их развитие [19–23]. В таблице 1 систематизированы процессы, явления, события и задачи, связанные с сооружением и функционированием водохранилищ. Наиболее важные компоненты будут подробнее рассмотрены ниже.

Организация водохранилищ затрагивает территорию речной долины ниже по течению, дельту и приёмный водоём. Ведущим фактором трансформации среды на каждом из участков выступает изменение речного стока: его объёма и режима, качества воды. Поэтому основные природоохранные мероприятия для решения возникающих экологических проблем нацелены на регулирование показателей речного стока [24, 25]. Природоохранная научная и практическая деятельность в России активно развивается, и для бассейновых округов разработаны схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) и нормативы допустимого воздействия (НДВ) хозяйственной и иной деятельности на водные объекты, включая установление безвозвратного изъятия стока, экологического стока и попусков. Однако в большинстве речных бассейнов страны экологический сток, в том числе попуски, на практике не реализуется, что ухудшает состояние водных и пойменных экосистем [26].

**Таблица 1.** Пространственно-временные процессы трансформации среды, ответные реакции биоты, мероприятия по охране

| Участок реки                                                                | Трансформация среды                                                                                                                                                                                                                                      | Превентивные природоохранные меры                                                                                                                                                                                                                                             | Ответные реакции экосистем                                                                                                                                                                                                                                            | Природоохранные меры в период функционирования водохранилища                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Подготовительный этап – создание ложа водохранилища и строительство плотины |                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Верхний бьеф, участок реки выше плотины                                     | – Исчезновение биотопов, характерных для территории будущего ложа водохранилища;<br>– фрагментация среды обитания многих видов фауны;<br>– переселение жителей;<br>– изменение инфраструктуры обширной территории (дороги, населённые пункты, постройки) | – Расчистка ложа водохранилища от лесной и кустарниковой растительности;<br>– борьба с браконьерством;<br>– планирование и разработка компенсационных мероприятий для поддержания биоразнообразия;<br>– создание специальных проходных сооружений для животных                | – Снижение численности многих видов фауны и флоры;<br>– исчезновение редких видов                                                                                                                                                                                     | –                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                             | Наполнение водохранилища                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                             | – Затопление обширных участков суши под ложе водохранилища;<br>– утрата высокопродуктивных пойменных и более удалённых от первоначального русла земель                                                                                                   | – Временный запрет охоты;<br>– долговременный запрет на ловлю рыб-реофилов;<br>– биотехнические мероприятия по спасению животных на островах;<br>– предотвращение гибели животных на пути их миграции при ледоставе                                                           | – Гибель локальной флоры и фауны пойм;<br>– гибель мигрирующих животных при пересечении возникших больших водной и ледовой преград                                                                                                                                    | Реализация компенсационных мероприятий в виде создания особо охраняемых природных территорий (ООПТ)                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                                             | Функционирование водохранилища                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                             | Изменения водной среды:<br>– замедление проточности;<br>– переработка берегов;<br>– заиливание чаши;<br>– изменение температурного режима;<br>– повышение минерализации воды;<br>– обнажение обширных участков дна в летний период                       | – Создание проходов в плотинах для мигрирующих видов рыб;<br>– определение водоохранной зоны на побережье и контроль за соблюдением режима природопользования на ней;<br>– регулирование режима работы водохранилища, исходя из условий обитания биоты на водоёме и побережье | Изменение водной речной экосистемы:<br>– замена реофильной фауны на лимнофильную;<br>– снижение воспроизводства ценных промысловых видов рыб;<br>– эвтрофирование<br><br>Гидроморфизация природных комплексов побережий, вселение сорных и инвазионных видов растений | – Берегоукрепление, в том числе лесомелиорация побережий;<br>– контроль за величиной суточного колебания уровня водохранилища (не более 50 см);<br>– контроль за мелководной зоной и регулирование зарастания прибрежной зоны (не более 7–10%);<br>– недопущение хозяйственной деятельности на территории водоохранной зоны |

Продолжение таблицы 1 на 333 с.



Таблица 1 (продолжение)

| Участок реки                           | Трансформация среды                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Превентивные природоохранные меры                                                                                                                                                                                                                                                    | Ответные реакции экосистем                                                                                                                                                                                                                  | Природоохранные меры в период функционирования водохранилища                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        | Гидрогенная трансформация среды на побережье:<br>— периодическое заливание;<br>— подтопление (подпор и разбавление грунтовых вод);<br>— смыв гумусового горизонта почв;<br>— перекрытие почв песчаными отложениями;<br>— развитие окислительно-восстановительных реакций в почвах                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                         |
| Нижний бьеф, участок реки ниже плотины | Изменение внутригодового распределения стока:<br>— сокращение объёма стока;<br>— сокращение объёма весенних паводков и сроков их прохождения;<br>— изменение температурного режима воды в паводок;<br>— заглубление грунтовых вод;<br>— трансгрессивная эрозия в приплотинной части;<br>— осухоливание поймы;<br>— зимние паводки, затопление зимующих видов | Разработка правил управления работой водохранилища, включая:<br>— расчёт и установление предельно допустимого изъятия речного стока из водохранилища;<br>— расчёт и установление экологических попусков в нижний бьеф;<br>— учёт работы водохранилища в системе каскада водохранилищ | — Уменьшение воспроизводства ихтиофауны;<br>— снижение рыбопродуктивности реки;<br>— сукцессионные процессы в растительном покрове в сторону ксерофитизации;<br>— гибель животных и прибрежной водной растительности при зимних паводках    | Контроль за соблюдением правил управления работой водохранилища на основе предусмотренных объёмов и режимов:<br>— предельно допустимое изъятие речного стока из водохранилища;<br>— режим и объёмы экологических попусков в нижний бьеф |
| Дельта                                 | — Сокращение стока воды и взвешенных веществ;<br>— осолонение воды водоёмов и проток;<br>— разрушение внешнего края дельты;<br>— переформирование гидрографической сети (сокращение числа проток и дельтовых водоёмов, сосредоточение речного стока в основных руслах)                                                                                       | Разработка мероприятий по сохранению биоразнообразия и искусственному обводнению дельты                                                                                                                                                                                              | — Нарушение литоморфопедагогизации (формирования элементов рельефа и почвообразования);<br>— ухудшение плодородия почв;<br>— обеднение численности видов и биоразнообразия водных и наземных экосистем;<br>— снижение продуктивности угодий | —                                                                                                                                                                                                                                       |

Окончание таблицы 1 на 334 с.

Таблица 1 (окончание)

| Участок реки                | Трансформация среды                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Превентивные природоохранные меры                                                                                                                                                                                              | Ответные реакции экосистем                                                                                                                                                                                                                                                          | Природоохранные меры в период функционирования водохранилища |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Приёмный водоём (замкнутый) | <ul style="list-style-type: none"> <li>— Снижение притока воды;</li> <li>— возрастание минерализации воды;</li> <li>— сокращение твёрдого стока;</li> <li>— образование обширных участков обсохшего дна;</li> <li>— вынос тонкодисперсного материала и возникновение пыльных бурь;</li> <li>— понижение уровня вплоть до усыхания водоёма</li> </ul> | Разработка мероприятий: <ul style="list-style-type: none"> <li>— по искусственному зарыблению осолонающихся водоёмов солеустойчивыми видами;</li> <li>— закрепление растительностью обсыхающих участков дна водоёма</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— Трансформация пресноводной экосистемы в солоноватоводную и гипергалинную;</li> <li>— снижение численности и разнообразия промысловых видов рыб;</li> <li>— превращение хозяйственно ценных водоёмов в непригодные для хозяйства</li> </ul> | —                                                            |

Источник: составлено по [1, 2, 16, 19, 20, 22].

Благодаря натурным исследованиям и анализу накопленных знаний была выявлена географическая детерминированность процессов перестройки биоты [18, 23, 27]. Иными словами, ответные реакции биоты зависят не только от вмещающих ландшафтов, определяющих направление и скорость перестройки среды, но и от того, что они зонально специфичны: в новых условиях формируются биоконтакты по типу эдафических (почвенных) вариантов, присущих данной природной зоне.

Цель настоящей работы — на основе современных данных показать, какие экологические последствия в степной зоне влечёт создание искусственных водоёмов для наземных экосистем не только на территории побережья, прилегающего к водоёму, но и вниз по течению, вплоть до приёмного водного объекта. Мы постарались более подробно разобрать основные особенности воздействия водохранилища на экосистемы побережья и их компоненты (почвы, растительность) на примере водохранилищ степной зоны России; систематизировать главные экологические последствия и проблемы в нижнем бьефе и на дельтовых участках; охарактеризовать разработанные природоохранные мероприятия и рассмотреть научные позиции в отношении спуска водохранилищ, а также экологические аспекты этой проблемы. Из всех природно-климатических зон России больше всего водохранилищ сконцентрировано в степной зоне. Они играют решающую роль в водообеспечении сельского хозяйства, при этом именно степные водохранилища по сравнению с таковыми в других зонах активнее влияют на окружающую среду и бы-

стрее претерпевают неизбежные трансформации под воздействием природных и антропогенных факторов.

**Материалы и методы.** Материалами послужили данные собственных многолетних полевых работ на водохранилищах степной зоны и научные публикации по экологическим проблемам водохранилищ в бассейнах Дона, Кубани и Волги. Исследования по проблемам усыхания Аральского моря и сохранения экосистем в дельте Амударьи 1980–2000 гг. в пустынной зоне [28, 29] позволили понять механизм гидрогенной трансформации среды при резком (периодически полном) сокращении притока речной воды к дельте и бессточному приёмному водоёму. Кроме того, привлечены новейшие результаты анализа природоохранных проблем водохранилищ на территории Сибири [16, 22, 26].

*Общей теоретической платформой* исследований стало представление о том, что водный фактор играет ведущую роль в трансформации исходных ландшафтов. В результате его комплексного воздействия на прилегающие территории исходные автоморфные ландшафты приобретают черты и свойства полу- и гидроморфных. В степных районах в дополнение к водному фактору появляется сопутствующий — засоление, определяющее ещё одну ветвь сукцессионных смен биоты.

*Основной методический приём* — комплексное рассмотрение изменений, вызванных вновь созданным водным объектом выше и ниже гидроузла, на разных участках реки, в дельте и приёмном водоёме. Под “водным фактором” понимается колебание режима не только поверхностных, но и связанных с ними

подземных вод, определяющих возрастание или сокращение гидроморфизма в условиях смены режима заливания и глубины залегания подземных вод. Ответные реакции биоты детерминированы не только географически, но и экологически. При изменении водного и солевого режимов биотопов появляются виды соответствующей экологической группы. Для изучения и выявления развития современного гидроморфизма на локальном, ландшафтном и региональном уровнях была разработана система критериев и показателей [23, 30] (табл. 2) и специальные методики [21].

В исследованиях используются показатели и критерии водного фактора и компонентов экосистем (почв, флоры, фауны). Почвенные показатели можно отнести к категории консервативных, их изменение происходит медленно и отражает тренды процессов трансформации водного фактора, в то

время как флора и фауна реагируют активно и непосредственно на флуктуации.

**Результаты и обсуждение. Верхний бьеф гидроузла.** Водохранилища в долинах равнинных рек (в отличие от горных) характеризуются значительной площадью водного зеркала и затопления земель на единицу объёма, небольшой максимальной (обычно не более 25 м) и средней (5–10 м) глубинами, относительно умеренным падением уровня при сработке (2–7 м) с большими вариациями площади зеркала и обнажающегося дна, высокой интенсивностью переработки берегов. Длина равнинного водохранилища превышает ширину. Наибольшая ширина — в приплотинной части в зоне подпора. Здесь сильнее всего развивается эрозия, дно максимально обнажается при сработке уровня.

Многие исследователи показали [5, 9, 15, 23, 30–34], что в результате изменения водного режима

**Таблица 2.** Индикаторы гидроморфизма

| Показатель     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Критерий                                                             |                                                                                                              |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Водный фактор  | Атмосферное увлажнение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Радиационный индекс сухости, соотношение тепла и влаги (М.И. Будыко) | тундра — 0.5;<br>лесная зона — от 0.5 до 1;<br>степная — от 1 до 2;<br>полупустынная > 2;<br>пустынная > 3   |
|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова, $ГТК=10P/\Sigma T$     | ГТК > 1 — гумидное;<br>ГТК = 1 — субгумидное;<br>ГТК = 1 < 0.5 — субаридное;<br>ГТК < 0.5 — аридное          |
|                | Поверхностные воды                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Заливание (длительность и частота)                                   | слабое — 10–15 дней, не ежегодное;<br>среднее — 16–40 дней, ежегодное;<br>сильное — более 40 дней, ежегодное |
|                | Грунтовые воды (по глубине залегания)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Режим подтопления                                                    | сильное — 0.3–1 м;<br>умеренное — 1.25 м;<br>слабое — 2.5–5 м                                                |
|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Водный режим почв                                                    | гидроморфный — 0–1.5 м;<br>полугидроморфный — 1.5–3 м;<br>автоморфный > 3 м                                  |
| Почвы          | — Повышенная мощность гумусового горизонта (А+В): для луговатых и луговых почв — более 130 см, для влажно-луговых — более 100 см;<br>— признаки современных окислительно-восстановительных процессов: гидроокисные плёнки железа (охристые пятна), сизоватость, включение марганцево-железистых новообразований (слабое проявление лугового процесса — от 1 до 2 м, активный луговой процесс (под гумусовым горизонтом) — от 50 до 80 см);<br>— признаки глеевого процесса;<br>— глубина наличия первичного и вторичного гипса (для степной зоны), свидетельство поднятия/опускания капиллярной каймы грунтовых вод;<br>— глубина карбонатной плесени или размытых палевых пятен белоглазки ( $\text{CaCO}_3$ ) |                                                                      |                                                                                                              |
| Растительность | Структура сообществ по соотношению видового богатства и численности:<br>— жизненные формы растений;<br>— отношение к условиям водного режима (гигрофиты, гидрофиты, мезофиты, ксерофиты);<br>— тип водного питания (фреатофиты, трихогидрофиты, омброфиты);<br>— засоление почв (мезофиты, мезогалофиты, галофиты);<br>— функционирование сообществ (запасы и структура фитомассы)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                      |                                                                                                              |
| Животные       | Численность, плотность популяций индикаторных групп видов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                      |                                                                                                              |



участка реки и превращения его в водохранилище на открытом побережье активизируются абразионные процессы. Под влиянием длительного затопления и волновой деятельности на периодически обнажающемся дне полностью разрушаются исходные природные комплексы. На участках побережья, подверженных кратковременному заливанню, одновременно идёт смыв верхних горизонтов почв и накопление на поверхности отложений, принесённых водой в паводок, формируются гидроморфные и полугидроморфные почвы и растительные сообщества; здесь и на прилегающей территории происходит активное пополнение и подпор грунтовых вод. На незаливаемых участках, где грунтовые воды залегают ближе 3–5 м от поверхности, идёт формирование полугидроморфных природных комплексов. Существовавшие в исходном ландшафте почвы, растительность и животное население в процессе адаптации к новым условиям водного режима в разной степени преобразуются в зависимости от гидролого-геоморфологического состояния биотопов и их зональной приуроченности.

**Водохранилище: внутриводоёмные процессы и изменение экосистем.** Многие негативные экологические проблемы, в частности ухудшение качества воды и снижение рыбопродуктивности, связывают с тем, что водохранилища замедляют водообмен в гидрографической сети речных бассейнов. Так, после сооружения каскада водохранилищ, водообмен в бассейнах Волги и Днепра замедлился в 7–11 раз [4]. Экологическим следствием стала смена реофильной флоры и фауны на лимнофильную, однако в то же время повысились рыбопродуктивность и способность новой экосистемы к самоочищению. Наибольшие проблемы для водопользования, прежде всего в субаридных и аридных районах, создают эвтрофирование, переформирование берегов и накопление наносов (заиление), осолонение воды.

**Эвтрофирование** — аномально высокое содержание биогенных веществ в воде. Благоприятная ситуация для развития эвтрофирования складывается в самом водоёме из-за замедления в нём водообмена, стратификации водной массы и образования обеднённых кислородом придонных слоёв. Основные источники биогенов — сельскохозяйственные угодья (пашня и пастбища), животноводческие фермы, урбанизированные территории, автостроды. Большую роль в поставке биогенов в первые годы существования водохранилища играет абразия. Часто биогенные элементы в водоёмы привносятся более загрязнёнными притоками — малыми реками. На первой стадии эвтрофирование выглядит положительно, так как в только что образованном водоёме быстро повышается продуктивность всех населяющих его организмов, в том числе рыб (за счёт малоценных видов) [7]. Затем численность ценных промысловых рыб постепенно снижается. В конечной фазе развиваются заморные явления,

и наступает омертвление водоёма. Оно происходит из-за того, что количество отмирающего фитопланктона становится очень большим, и на окисление мёртвого органического вещества расходуется почти весь растворённый кислород. В южных районах из-за сильного прогревания происходит цветение воды — массовое развитие сине-зелёных водорослей, что особенно характерно для Цимлянского водохранилища.

**Заиление.** Организация водохранилища может быть лишена всякого смысла, если не опираться на обоснованный прогноз темпов его будущего заиления. Известны водохранилища, занятые наносами настолько, что они больше не способны выполнять функции накопителя и регулятора речных вод. Исследования последних лет показали, что в Цимлянском водохранилище исходный рельеф дна заполнен наносами, оно выположено (снижена наклонная поверхность), что затрудняет судоходство, обеспечение которого — одна из главных функций гидроузла.

Донные отложения водохранилища формируются за счёт автохтонного органического вещества, ежегодно поступающего в осадок, и аллохтонного вещества — приносимых рекой и притоками наносов, продуктов разрушения берегов и мелководий, эолового материала, антропогенных сбросов. В водохранилищах оседает от 85 до 97% речных наносов. Американские исследователи, ссылаясь на статистические данные, связывают скорость заиления с размерами водохранилищ. Наиболее крупные заиляются медленнее и в год теряют менее 1% объёма, а мелкие — до 3%.

**Переформирование берегов** — наиболее агрессивный процесс, инициирующий прочие негативные последствия внутри водоёма. Именно размыв берегов составляет основной материал для заиления. Его природные предпосылки — рыхлые породы, крутосклонность и приглубость берегов, развитие оползней, отсутствие или сильная нарушенность водной и наземной растительности, ветровое волнение, удаление продуктов абразии вдольбереговыми течениями, перемещение контакта вода—берег в течение года.

В развитии берегов выделяют два периода. Первый — становление, во время которого преобладает эрозия. Второй — стабилизация, когда определяющими являются процессы аккумуляции. Однако наши наблюдения показывают, что стабилизация может и не наступить. Переформирование берегов всё ещё активно протекает на побережье Цимлянского водохранилища, сложенного лёссами. Согласно исследованиям [35], они очень близки к прогнозу, сделанному на начальном этапе создания этого водоёма. Для правого берега водохранилища характерно более медленное смещение береговой линии — со средней скоростью от 1.28 м/год (Нижний Чир) до 2.83 м/год (Хорошевская), а также замед-

ление этого процесса со временем. Смещение береговой линии левобережья изменяется от 2.82 м/год (Ильмень-Суворовский) до 6.34 м/год (Приморский) и, напротив, активизируется. За прошедшие более 50 лет берег отступил на расстояние от 64.18 м у посёлка Нижний Чир до 323.72 м у хутора Приморского. Выявлена общая закономерность: наибольшие величины смещения береговой линии водохранилища имеют место на приплотинном участке и уменьшаются по мере удаления от него вверх по течению. Таким образом, нужно решать серьёзнейшую проблему водохранилищ, созданных в степных районах на лёссовых отложениях, — предотвращать размыв побережий. С этой целью проводится важное природоохранное мероприятие — отсыпка побережий камнем или, в наиболее сложных случаях, укрепление каменными блоками, как было сделано в 2010-х годах на Цимлянском водохранилище у Хорошевой.

**Осолонение воды.** Минерализация и химизм поверхностных и подземных вод в зоне влияния водохранилищ соответствует эколого-географическим условиям вмещающих ландшафтов: с севера на юг в степной зоне минерализация воды возрастает от пресной (0.2–0.5 г/л) до солоноватой и солёной (1–3 и 3–10 г/л соответственно), а химизм изменяется с гидрокарбонатного в настоящих степях (Краснодарское) на хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный в сухостепных ландшафтах (Цимлянское). Повышение минерализации особенно характерно для небольших водоёмов на юге степной зоны, в её сухостепной подзоне. Как показали исследования в Калмыкии [36, 37], со временем минерализация водохранилищ, предназначенных для питьевого водоснабжения населения и скота, возрастает и достигает значений, при которых дальнейшее их использование становится затруднительно. Одновременно падает рыбопродуктивность.

**Трансформация природных комплексов побережий водохранилищ** происходит под прямым воздействием водного фактора путём заливания и подтопления, параметры которых зависят от колебания уровня водохранилища. Ежегодное изменение уровня влияет на природные комплексы всей территории побережья, и этот ведущий фактор зависит от водности года и поддаётся управлению. Анализ ежегодного хода уровня воды Цимлянского водохранилища (по данным управления гидроузлом, рис. 1) показывает, что за 7 лет наших наблюдений только в 2004, 2006 и 2008 гг. происходило затопление побережья. В остальные годы вода не доходила до берегового уступа, иногда — в течение нескольких лет подряд (2009–2013). Участки дна, освободившиеся от воды, стали покрываться проростками ив и тополей. Самый низкий уровень отмечался в 2011 г.: в осенне-зимний период он приблизился к отметке мёртвого объёма, а годовая амплитуда колебания была чуть выше 2 м (при 4 м в начале эксплуатации водохранилища).

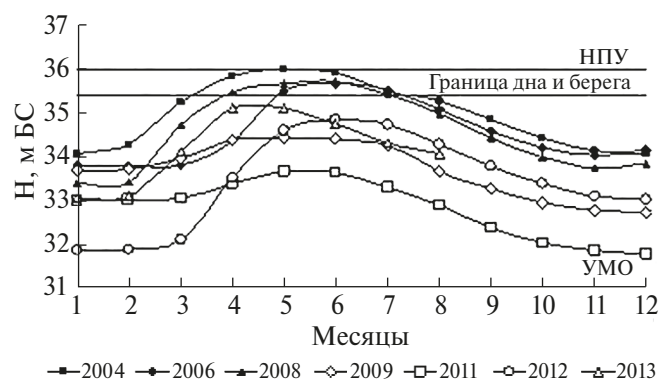
Анализ годовых колебаний на Цимлянском водохранилище за 1951–2010 гг. выявил статистически значимую тенденцию снижения внутригодового разброса значений уровня на 2 м с момента создания в 1951 г.

**Грунтовые воды.** На заливаемых участках побережья Цимлянского водохранилища глубина грунтовых вод после заливания — 0.5–1.5 м, на подтопленных — до 3 м и более. К осени грунтовые воды заглубляются по сравнению с весной в среднем на 1.5–2 м, минерализация увеличивается незначительно. Наблюдения за глубиной вскрытия грунтовых вод и установившимся уровнем на скважинах позволили выявить наличие напора.

Вода водохранилищ менее минерализована, чем грунтовые воды, и опресняет их. Это подтверждается тем, что на заливаемом участке, расположенном ближе к урезу воды, грунтовые воды оказываются менее минерализованными, чем на следующем за ним более удалённом незаливаемом. Однако в зоне сработки, на обнажающемся дне, вскрытие расположенных близко к поверхности грунтовых вод нередко показывает, что их минерализация в несколько раз выше воды водохранилища.

Минерализация и химизм поверхностных и подземных вод в зоне влияния водохранилищ (табл. 3) соответствуют эколого-географическим условиям вмещающих ландшафтов: с севера на юг минерализация воды водохранилищ возрастает, а химизм изменяется с гидрокарбонатного в настоящих степях (Краснодарское) на хлоридно-сульфатный и на сульфатно-хлоридный — в сухих (Цимлянское). В подзоне сухих степей рост минерализации воды водохранилищ и подземных вод усиливается региональными геологическими условиями — расположением маньчжских водохранилищ (Веселовское и Пролетарское) на морских сильно засоленных отложениях.

Исследования 2004–2013 гг. показали, что наиболее глубокие изменения в результате дополни-



**Рис. 1.** Изменение уровня Цимлянского водохранилища за годы наблюдений

НПУ — нормальный подпорный уровень; УМО — уровень мёртвого объёма

тельного увлажнения происходят с растительностью: в степи и пустыне формируются аazonальные луговые и древесно-кустарниковые сообщества [32]. В составе фауны, особенно орнитокомплексов, появляются виды, характерные для водно-болотных биотопов. Водоохранные создают благоприятные условия для остановок сезонно мигрирующих птиц и поддерживают экологический каркас на региональном уровне, сохраняя редкие и охраняемые виды [37, 38].

Почвы побережий, как оказалось, претерпевают меньшую трансформацию вследствие заливания, однако во время кратковременного затопления сильно нарушается гумусовый горизонт: он либо разрушается, либо перекрывается песчаными или илистыми наносами. Особенность аридных районов — высокое залегание грунтовых вод на побережьях водоохранилищ, что способствует накоплению солей; в результате почвы в зоне затопления и подтопления трансформируются в засоленные и солончаковые типы. В весенне-летний период в водоохранилище в исходных зональных автоморфных почвах развивается глеевый процесс, выявляемый по наличию гидроокислов железа и присутствию сизоватых тонов в почвенном профиле. На Цимлянском водоохранилище в сухостепных сухих аллювиальных аккумулятивных и сухостепных сухих лёссовых аккумулятивных ландшафтах произошли наиболее глубокие изменения почв на побережье, в них проявились все индикаторы вторичного гидроморфизма почв, указанные в таблице 2.

Основное мероприятие, направленное на снижение антропогенного воздействия на водоохранилище (перехват загрязняющих веществ, поступающих с водосборов, которые заняты в этой зоне сельскохозяйственными полями, и недопущение хозяйственной деятельности) — организация водоохранной зоны. Её ширина, установленная для рассмотренных водоохранилищ степной зоны, составляет 200 м, согласно современному законодательству (Водный кодекс РФ, № 74-ФЗ от 03.06.2006 г., ст. 65). Тем не менее эффект, оказываемый водоохранилищами на побережье через подпор грунтовых вод, гораздо сильнее: на южном побережье Краснодарского во-

одоохранилища максимальное удаление этой границы от уреза воды в межень проходит на расстоянии 560 м, на Цимлянском — 300 м, на Веселовском — 541 м и только на Пролетарском — 107 м. Водоохранная зона в таких случаях не может выполнять своих функций, так как располагающиеся близко к поверхности грунтовые воды (<3 м) могут легко пополняться за счёт поверхностного стока.

**Природоохранная роль водоохранилищ.** Этот аспект обсуждается редко, в то время как в степной и, особенно, пустынной зонах природоохранная роль искусственных водоёмов проявляется наиболее ярко и положительно. Благодаря обратным экологическим связям формирующиеся на побережьях системы природных комплексов способствуют предотвращению загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов. Они предупреждают эрозионные процессы, поддерживают стабильный гидрохимический режим [39]. Возникают редко встречающиеся в естественных условиях гидроморфные биотопы, поддерживая таким образом полноту природного биоразнообразия. На побережье Цимлянского водоохранилища в 2004–2012 гг. в зоне его прямого (заливание) и косвенного (подтопление) влияния обнаружены 4 подтипа и 11 разновидностей почв с различными проявлениями признаков гидроморфизма в почвенном профиле, а также 253 вида растений и 138 видов птиц [38].

В степных и пустынных районах при условии организации заповедников и заказников на основе искусственных водоёмов может быть сформирован экологический каркас, в котором ООПТ будут служить ядрами концентрации биоты гидроморфных биотопов. Примером может послужить Республика Калмыкия, где с 1936 г. по настоящее время создано 256 искусственных водных объектов (в большинстве своём малых), а более 20 заповедано. Исследования С.С. Улановой [36, 37] показали, что на водоёмах Калмыкии присутствуют 6 типов почв гидроморфного ряда и один — полугидроморфного. Все почвы засолены. Флористическое богатство представлено 179 видами, фитоценотическое — 53 ассоциациями 24 формаций. Орнитофауна составляет 171 вид птиц, в том числе 22 вида, включённые в Красную

**Таблица 3.** Гидрохимические показатели поверхностных и грунтовых вод побережий водоохранилищ

| Показатель                             | Водоохранилище                    |                     |                    |                     |
|----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                                        | Краснодарское                     | Цимлянское          | Веселовское        | Пролетарское        |
| Минерализация воды водоохранилища, г/л | 0.1–0.21                          | 0.28–0.86           | 2.06–2.92          | 1.80–9.3            |
| Тип засоления воды                     | SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub> | Cl–SO <sub>4</sub>  | Cl–SO <sub>4</sub> | Cl–SO <sub>4</sub>  |
| Минерализация грунтовых вод, г/л       | 0.11–5                            | 0.45–13.42          | 4.34–52.01         | 5.40–30.9           |
| Тип засоления грунтовых вод            | SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub> –Cl | Cl–SO <sub>4</sub> | SO <sub>4</sub> –Cl |



книгу РФ. Со временем водохозяйственная роль искусственных водоёмов уменьшается, однако усиливается средообразующая функция. Наиболее крупные водоёмы являются заповедниками местного и федерального значения, служат опорными элементами экологического каркаса территории, способствуют увеличению ландшафтного и биологического разнообразия на уровне региона.

**Нижний бьеф** — участок реки ниже плотины гидроузла. В этой части долины реки экологические процессы и трансформация природных комплексов (см. табл. 1) связаны с изменением объёма и режима стока и уменьшением взвешенных наносов (осветление воды). Снижение уровня затопления поймы или его прекращение в весенне-летний период приводит к сокращению площади кормовых угодий и кормовой базы всех видов рыб и, следовательно, к резкому спаду их воспроизводства. Страдают урожайность луговой растительности (кормовая база) и ухудшаются условия размножения водоплавающих птиц и млекопитающих [40, 41].

Здесь в наибольшей степени проявляются последствия изменений режима реки, определяемых Правилами использования водохранилища и пусков в нижний бьеф. На территории России водохранилища обычно наполняются за счёт половодья, поэтому в нижний бьеф весной поступает меньше воды, чем при естественном режиме, но в летне-осенний и зимний периоды — больше. Так, на Нижней Волге после создания каскада водохранилищ весенний сток уменьшился вдвое, летне-осенний увеличился в 1.5 раза, а зимний вырос в 2.8 раза. Экологическим следствием этого стало осуходоливание поймы, так как самые высокие её отметки — гривы и прирусловая высокая пойма — перестали заливаться [40]. Кроме того, происходит нарушение режима грунтовых вод: они заглубляются, амплитуда их внутригодового колебания сильно сокращается, в результате чего больше всех страдают древесные виды. Так, в пойме Волги гибель дубов связывают именно с этим явлением. Высопродуктивные луговые ценозы теряют урожайность и качество, в их состав внедряются так называемые непоедаемые виды, например, в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища на расстоянии около 100 км от гидроузла произошло замещение луговой растительности сорнотравьем с доминированием хрена (*Armoracia rusticana*) [42].

Осуходоливание усиливается трангрессивной эрозией в русле реки, которая начинается на приплотинном участке и распространяется вниз по течению со скоростью до нескольких десятков километров в год. Так, на Новосибирском водохранилище этот процесс развивался вниз по течению от гидроузла со скоростью 12–15 км в год и к настоящему времени охватил участок в 300 км [43]. Одновременно происходит углубление русла. В частности, на Волге, ниже плотины Волжского гидроузла,

выявлено углубление на 1.5 м, в результате чего уменьшилось заливание прибрежных территорий: пойменные участки перешли в режим надпойменных террас [40].

**Зимняя полынья** возникает из-за того, что зимой при температуре воздуха ниже 0°C в нижний бьеф из водохранилища сбрасывается вода температурой 8–9°C, и участок реки, прилегающий к плотине, не замерзает, либо ледовый покров остаётся непрочным на протяжении нескольких километров. Это служит непреодолимым препятствием для мигрирующих животных, случается их массовая гибель, особенно в первые годы после создания гидроузла, в результате сильно подрывается их численность. Это явление, особенно характерное для малонаселённых районов Сибири, описано в работе [16].

**Зимние паводки** типичны для нижнего бьефа водохранилищ с ГЭС. Зимний сток здесь имеет гораздо большие объёмы, чем при естественном режиме. Вода расплывается по поверхности льда и губит флору и фауну. Зимние паводки характерны для нижнего бьефа Волгоградского гидроузла. Для уменьшения опасности таких паводков следует корректировать режим работы ГЭС в зимний период.

Плотины создают большие проблемы для ценных промысловых видов рыб [20, 41]. Гидроузел становится преградой для нерестовых миграций проходных рыб, рыбопропускные сооружения даже лучших конструкций и в хорошем состоянии не обеспечивают массового безопасного прохода рыбы к нерестилищам, некоторые из которых вообще оказываются недоступными. Из-за изменений водного режима и условий обводнения оставшиеся нерестилища, по крайней мере в отдельные годы, высыхают прежде, чем мальки успевают их покинуть. Гидростроительство стало главной причиной катастрофического сокращения численности ценных видов рыбы на Волге и Дону — реках, зарегулированных водохранилищами. В совокупности с другими неблагоприятными факторами это поставило под угрозу исчезновения осетровых в бассейнах Каспийского и Азовского морей.

**Природоохранные мероприятия в нижнем бьефе.** Негативные процессы и явления, развивающиеся на разных участках нижнего бьефа гидроузлов, прежде всего снижение биоразнообразия и продуктивности экосистем, могут быть в определённой мере ослаблены, если управлять водохранилищами с учётом комплекса экологических требований, в первую очередь путём сокращения безвозвратного изъятия стока по всей длине реки. К настоящему времени разработаны методики расчёта предельно допустимых объёмов изъятия воды, экологического стока и пусков [19]. Они используются в системе управления Волжско-Камским каскадом.

В отношении бассейна Аральского моря программа-минимум на ближайшие годы — экологическая стабилизация. Достижение этой скромной



цели во многом зависит от сохранения суммарного водного стока в дельтах Амударьи и Сырдарьи в объёме 10–15 км<sup>3</sup>/год [44]. Для этого необходимо провести реконструкцию ирригационных систем, снизить непроизводительные расходы в магистральных водотоках и на полях, провести структурное преобразование растениеводства пяти центрально-азиатских республик, направленное на снижение безвозвратных потерь в сельском хозяйстве за счёт замены на больших площадях водоёмких культур (риса, хлопчатника) менее водоёмкими (сады плодовых культур). Рекомендации были разработаны ещё в 1990 г. [45], однако реализованы не были, и проблема обеспечения минимально необходимого притока речной воды к дельтам и морю продолжает усугубляться [44, 46]. Важным результатом стало сохранение Малого моря – северной части бывшего Аральского моря, изолированной Кокаральской плотиной (2005) от “большого моря” – остаточных водоёмов, деградация которых продолжается. В Малом море благодаря притоку воды Сырдарьи уровень поднялся до 40–42 м (абс.) [44, 46], воссоздалась солоноватоводная экосистема Аральского моря. Состояние этого водоёма – индикатор качества управления водным хозяйством и эффективности водопользования в бассейне Сырдарьи. Для более существенного улучшения экологического состояния Приаралья необходимо радикальное преобразование всей гидромелиоративной системы – переход к подземному капельному орошению.

**Дельты и приёмные водоёмы.** Создание водохранилищ влечёт за собой безвозвратное изъятие воды на хозяйственные нужды, что сокращает приток к дельте и приёмному водоёму. В результате уровень изолированного водоёма падает, и он может исчезнуть, как это случилось с Аральским морем [46, 47]. Большая часть территории его обсохшего дна – солончаковая пустошь. В дельтах рек Амударьи и Сырдарьи, питающих море, идёт опустынивание, охватившее все компоненты природной среды. Как показали исследования [28], в неосвоенной части дельты Амударьи продолжается процесс смены растительного покрова, характерного для пойм, типичным для зональных пустынь. В сообществах древесных тугаев (узкие изолированные друг от друга участки берегов рек с лесной растительностью, типичные для Центральной Азии) он обычно идёт сукцессионным путём, в то время как катастрофические смены характерны преимущественно для травяных и кустарниковых сообществ, особенно галофильных. На месте их гибели образуются долго не зарастающие пустоши, на которых формируется благоприятная обстановка для вселения видов, отличающихся от обитавших в предшествующей экосистеме. По берегам каналов и искусственных водоёмов в локальных гидроморфных условиях с режимом периодического затопления поймы сохраняются и даже вновь образуются растительные сообщества тугайного типа. Данные по засолению почв (солевые профили) дают основание

считать, что соли в настоящее время поступают не из атмосферы, а из залегающих близко к поверхности грунтовых вод.

**Спуск водохранилищ.** Длительный период эксплуатации действующих водохранилищ (более 70–90 лет) и проявившиеся негативные последствия обусловили возникновение идеи их спуска. В конце XX – начале XXI в. вокруг неё развернулась научная дискуссия. В пользу спуска водохранилищ выдвигались следующие аргументы: приближение гидроузлов к предельному запланированному сроку функционирования, усталость плотин, проблемы нижних бьефов, желание вернуть обширные территории речных плодородных пойм, служившие продуктивными пастбищами и сенокосами, восстановление прежнего качества речной воды и рыбопродуктивности. Аргументы против спуска опирались на то, что реки – мощные транспортные артерии, играющие важную роль в экономике страны, а при спуске водохранилищ судоходство перестанет быть круглогодичным. Будет нанесён ущерб энергетике. Кроме того, на базе каждого водохранилища сформировалась экономически и социально значимая водохозяйственная инфраструктура, не позволяющая вносить существенные изменения с экономических позиций. В отношении вероятных негативных экологических последствий высказывалось предположение, что при обнажении дна водохранилища в субэральное развитие вступят обширные территории, сложенные мелкодисперсным материалом, который содержит опасные загрязняющие вещества. Эта территория длительное время не будет зарастать и превратится в источник пыльных бурь, как на Аральском море.

В 1987 г. Госэкспертиза Госплана СССР рассматривала проект “Схемы улучшения технического состояния и благоустройства Рыбинского водохранилища”, предусматривавший снижение его нормального подпорного уровня (в то время 102 м) до минимального навигационного (99.5 м). Оценив прежде всего экономические последствия спуска водохранилища на 2.5 м (его средняя глубина – 5.6 м), эксперты убедительно обосновали заключение о неэффективности проекта. Развивая использованный экспертизой подход, А.Б. Авакян [48] впервые выполнил комплексный и корректный в научном отношении анализ хозяйственных и экологических последствий спуска крупных водохранилищ Волги, Камы, Дона, Днепра. Он пришёл к выводу, что функционирование существующих крупных водохранилищ с полным объёмом 0.1 км<sup>3</sup> и более, площадью водного зеркала 500–100 км<sup>2</sup> экономически актуально, их спуск не решит никаких экологических проблем, напротив, вызовет ряд негативных последствий для ведения хозяйства, сложившейся инфраструктуры, а отрицательные экологические последствия проявятся как на территории ложа самого водохранилища, так и в нижнем бьефе. Из многочисленных негативных исходов наиболее нежелательны:

- прекращение работы ГЭС и необходимость компенсационных мероприятий по выработке электроэнергии;
- разрушение сложившихся транспортных систем, ущерб судоходству, потребность в альтернативных видах транспорта;
- переустройство инфраструктуры объектов, расположенных по берегам спускаемого водохранилища;
- увеличение паводковой опасности в нижних бьефах;
- уменьшение самоочищающей и разбавляющей способности рек, особенно в меженный период;
- добавление в период спуска к сбрасываемым водам огромной массы загрязняющих веществ, накопленных в донных отложениях;

- разрушение экосистем водохранилища и прилегающих территорий; ложе спущенных водохранилищ долго не будет зарастать и потребует длительных и весьма дорогостоящих работ по рекультивации.

В отношении спуска водохранилищ в итоге сложилось мнение, что это может быть целесообразным только для малых (полный объём  $< 0.01 \text{ км}^3$ , площадь водного зеркала  $< 2 \text{ км}^2$ ), небольших (полный объём  $0.01\text{--}0.1 \text{ км}^3$ , площадь водного зеркала  $2\text{--}20 \text{ км}^2$ ) и, в исключительных случаях, средних водохранилищ сезонного регулирования по следующим показаниям:

- аварийное состояние гидросооружений напорного фронта;
- бесхозность водоёма, отсутствие собственника гидротехнического сооружения, потеря водохозяйственного значения;
- длительный срок эксплуатации сооружений, заиливание мёртвого объёма водохранилища, интенсивное зарастание мелководий;
- негативное влияние на водные ресурсы (неоправданно большие потери стока на испарение, цветение воды, вторичное загрязнение протекающих вод донными отложениями).

Спуск малых водохранилищ актуален сам по себе, так как на территории России до 50% построенных ранее малых водохранилищ и прудов утратили своё экономическое значение, до 70% малых искусственных водоёмов создавались хозяйственным способом и не имеют технической документации, около 10% являются бесхозными, 25% находятся в аварийном состоянии, 40% эксплуатируются более 30 лет [49].

Мелиоративные работы после спуска малых водохранилищ потребуют меньших вложений, нежели для крупных, и фитомелиорация обнажившегося дна может завершиться за 5–7 лет, в течение которых экологическая ситуация на территории ложа, побережья и нижнего бьефа будет нестабильной. Для предотвращения развития негативных процессов и явлений разработан перечень работ по техниче-

ской и биологической рекультивации (табл. 4) [49]. Отметим, что предусмотренные мероприятия не имеют зональной специфики.

При рекультивации водный фактор остаётся ведущим, изменение условий влагообеспеченности запустит ряд быстрых смен растительности по градиенту сокращения увлажнения от болотного к луговому и лугово-степному. На прилегающих участках бывшего побережья при снижении уровня грунтовых вод до 3 м сукцессия закончится остепнёнными злаковыми и разнотравными лугами. Трансформация растительности будет опережать развитие почвенного покрова и способствовать ему. Гидро- и фитомелиорация может ускорить формирование устойчивых сообществ, закрепляющих и стабилизирующих динамику почвогрунтов.

Наши наблюдения в приплотинной части Цимлянского водохранилища, где дно на несколько лет освобождалось от воды на расстояние до 700 м, показали [23], что в течение первого года появлялись в основном проростки древесных видов, произрастающих на побережье, на второй-третий год сомкнутость растений возрастала за счёт тростника и однолетников. Заболачивание отсутствовало, так как грунтовые воды находились на глубине более 1 м. Мы пришли к выводу, что в случае необходимости спуск водохранилища любого размера может быть осуществлён путём поэтапного понижения уровня, чтобы единовременно обнажалась полоса дна вдоль берега шириной не более 200 м. Так закрепление дна растительностью будет происходить постепенно под контролем мелиоративного состояния территории.

Старение водохранилищ, их заиливание, неудовлетворительное состояние гидротехнических сооружений становятся дополнительными факторами экологической опасности и причиной возникновения чрезвычайных ситуаций. В случае стихийного, неконтролируемого разрушения плотины наибольшую угрозу представляет волна прорыва гидротехнического сооружения, которая влечёт за собой катастрофические последствия: гибель людей и животных, разрушение построек, затопление населённых пунктов, как это имело место на Каховском водохранилище в 2023 г. В Институте водных проблем РАН и Институте географии РАН разработаны основные методические подходы к расчёту параметров волны прорыва, её картографированию и оценке ущерба [50–53]. Экологические последствия, развивающиеся после прохождения волны и спада затопления нижнего бьефа, аналогичны процессам, протекающим при контролируемом спуске водохранилища.

\* \* \*

Экологические последствия строительства и эксплуатации водохранилищ — это ответные реакции экосистем и их компонентов на нарушения водного

**Таблица 4.** Перечень основных мероприятий по рекультивации ложа спущенных водохранилищ и решаемые при этом экологические проблемы

| Стадия                            | Мероприятия                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Решаемые проблемы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Изыскательские и проектные работы | <ul style="list-style-type: none"> <li>— Определение мощности, водно-физических свойств, качественного состава отложений наносов;</li> <li>— анализ проектных материалов по топографическим и гидрогеологическим условиям в ложе водохранилища</li> </ul>                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>— Определение устойчивости отложений наносов к оползанию, водной эрозии, локализация участков с загрязнёнными отложениями, подлежащими удалению; определение пригодности отложений для биологической рекультивации;</li> <li>— выбор расчётной фильтрационной схемы, расчёт продолжительности сработки “вековых” запасов грунтовых вод, прогноз динамики водно-воздушного режима в ложе водохранилища;</li> <li>— разработка проекта рекультивации ложа водохранилища</li> </ul> |
| Технический этап рекультивации    | Расчистка русла водотока от иловых отложений или организация спуска воды таким образом, чтобы обеспечить осаждение продуктов размыва на поймах в нижнем бьефе                                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>— Предупреждение заиления нижележащих участков русла;</li> <li>— увеличение дренирующей способности русла</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                   | Проведение противоэрозионных мероприятий: устройство системы валов—каналов, регулирование поверхностного стока                                                                                                                                                                                                                                                                  | Перехват продуктов водной эрозии, недопущение их поступления в водоприёмник до формирования устойчивого растительного покрова в ложе спущенного водохранилища                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                   | Устройство системы нагорно-ловчих каналов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Повышение устойчивости склонов, предупреждение оползней, размыва отложений напорными грунтовыми водами, ускорение сработки грунтовых вод                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>— Агротехническая обработка, известкование потенциально плодородных участков ложа водохранилища;</li> <li>— землевание неплодородных участков ложа иловыми отложениями с высоким содержанием биогенных и органических веществ;</li> <li>— удаление отложений, загрязнённых тяжёлыми металлами, радионуклидами, или их санация</li> </ul> | Подготовка ложа спущенного водохранилища для биологической рекультивации                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Биологическая рекультивация       | Создание устойчивого растительного покрова путём регулирования процессов самозарастания или искусственной культивации соответствующих видов водно-болотной и суходольной растительности                                                                                                                                                                                         | Предупреждение водной эрозии, повышение плодородия почв, создание условий для сельскохозяйственного освоения земель                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Организация водоохраных зон       | Залужение, закустаривание прибрежных полос, организация водорегулирующих лесокустарниковых насаждений, обеспечение режима хозяйственной деятельности в соответствии со статусом водоохранной зоны                                                                                                                                                                               | Воспроизводство экологически полноценных водных ресурсов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Источник: составлено по [49].



режима, которые зависят от вмещающего ландшафта и зонально специфичны. В современных степных ландшафтах водохранилища стали важным элементом трансформации природной среды. На их побережьях в результате изменения режима речного стока завершились процессы гидрогенной трансформации ландшафтов: сформировались природные комплексы, приуроченные к условиям ежегодного заливания, подтопления и кратковременного освобождения дна от воды. Управляющий фактор их многолетней динамики — ежегодные колебания уровня водохранилища.

Как правило, влияние водохранилищ на побережья распространяется на территории, превышающие ширину их водоохраных зон (для водохранилищ на крупных реках — до 200 м). Это происходит через подпор и разбавление грунтовых вод. В связи с этим представляется целесообразным уточнять ширину водоохраной зоны по границе прямого воздействия водохранилища на побережье. Кроме того, эффект от организации водохранилища косвенно оказывается сильнее из-за овражно-балочной и речной систем. Если учитывать ещё и водохозяйственные системы (особенно обводнительно-оросительные), то общая площадь гидрогенной трансформации природной среды в степной зоне для одного водохранилища составит от сотен до миллионов га. Благодаря искусственным водоёмам в аридных условиях степной зоны возникают гидроморфные биотопы, редко встречающиеся в естественной среде, поддерживается природное биоразнообразие почв, растительности и фауны.

Природоохранная деятельность по смягчению или ликвидации негативных экологических последствий заключается в управлении объёмом, режимом и качеством речного стока. Что касается спуска, то в настоящее время это актуально лишь в случае малых водохранилищ, утративших своё значение, либо бесхозных. При этом могут потребоваться дорогостоящие гидромелиоративные и фитомелиоративные мероприятия. Спуск любых водохранилищ должен проводиться поэтапно и под строгим экологическим контролем.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института водных проблем РАН (тема № FMWZ-2022-0002, государственная регистрация 122041100236-4).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Авакян А.Б., Широков В.М.* (1994) Рациональное использование и охрана водных ресурсов. Екатеринбург: Виктор.

- Avakian A.B., Shirokov V.M.* (1994) Rational use and protection of water resources. Yekaterinburg: Victor. (In Russ.)
2. *Авакян А.Б.* (1982) Водохранилища и окружающая среда. М.: Наука.  
*Avakian A.B.* (1982) Reservoirs and the environment. Moscow: Science. (In Russ.)
3. *Кочарян А.Г., Лебедева И.П.* (2014) Гидроэкология: водохранилища — баланс противоречий // Инженерная экология. № 5. С. 13–31.  
*Kocharyan A.G., Lebedeva I.P.* (2014) Hydroecology: reservoirs — a balance of contradictions. Engineering ecology, no. 5, pp. 13–31. (In Russ.)
4. *Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А.* (2005) Гидрология: учебник для вузов. М.: Высшая школа.  
*Mikhailov V.N., Dobrovolsky A.D., Dobrolyubov S.A.* (2005) Hydrology: textbook for universities. Moscow: Higher School. (In Russ.)
5. *Матарзин Ю.М.* (1983) Водохранилища как особые гидрологические объекты // Водные ресурсы. № 6. С. 108–118.  
*Matarzin Y.M.* (1983) Reservoirs as special hydrological objects. Water resources, no. 6, pp. 108–118. (In Russ.)
6. *Клиге Р.К., Данилов И.Д., Конищев В.Н.* (1998) История гидросферы. М.: Научный мир.  
*Klige R.K., Danilov I.D., Konishchev V.N.* (1998) The history of the hydrosphere. Moscow: Scientific world. (In Russ.)
7. *Горшков С.П.* (2001) Концептуальные основы геоэкологии. М.: Желдориздат.  
*Gorshkov S.P.* (2001) Conceptual foundations of geoecology. Moscow: Zheldorizdat. (In Russ.)
8. *Авакян А.Б., Лебедева И.П.* (2002) Водохранилища XX века как глобальное географическое явление // Известия РАН. Серия географическая. № 3. С. 13–20.  
*Avakian A.B., Lebedeva I.P.* (2002) Reservoirs of the twentieth century as a global geographical phenomenon. Izvestiya RAS. Geographical series, no. 3, pp. 13–20. (In Russ.)
9. *Эдельштейн К.К.* (1998) Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: Геос.  
*Edelstein K.K.* (1998) Reservoirs of Russia: environmental problems, ways to solve them. Moscow: Geos. (In Russ.)
10. *Вендров С.Л.* (1979) Проблемы преобразования речных систем СССР. Л.: Гидрометеиздат.  
*Vendrov S.L.* (1979) Problems of transformation of river systems of the USSR. Leningrad: Hydrometeoizdat. (In Russ.)

11. Калинин Г.П. (1970) О гидрологических основах управления режимом вод суши // Метеорология и гидрология. № 4. С. 5–9.  
*Kalinin G.P.* (1970) On the hydrological foundations of land water regime management. Meteorology and hydrology, no. 4, pp. 5–9. (In Russ.)
12. Воронаев Г.В. (1982) Проблемы водообеспечения страны и территориальное перераспределение стока // Водные ресурсы. № 6. С. 3–28.  
*Voropaev G.V.* (1982) Problems of the country's water supply and territorial redistribution of runoff. Water resources, no. 6, pp. 3–28. (In Russ.)
13. Болгов М.В., Беляев А.И., Пугачёва А.М. и др. (2020) Азово-Донская водная проблема // Водные ресурсы. № 6. С. 755–766.  
*Bolgov M.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. et al.* (2020) The Azov-Don water problem. Water resources, no. 6, pp. 755–766. (In Russ.)
14. Кузьмина Ж.В. (2007) Воздействие низконапорных гидротехнических сооружений на динамику наземных экосистем зоны широколиственных лесов Центральной и Восточной Европы // Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М.: ИВП РАН.  
*Kuzmina J.V.* (2007) The impact of low-pressure hydraulic structures on the dynamics of terrestrial ecosystems of the zone of broad-leaved forests of Central and Eastern Europe. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Geographical Sciences. Moscow: IVP RAS. (In Russ.)
15. Новикова Н.М., Волкова Н.А., Назаренко О.Г. (2014) Функционирование экотонных систем побережья Цимлянского водохранилища // Аридные экосистемы. № 4 (61). С. 24–35.  
*Novikova N.M., Volkova N.A., Nazarenko O.G.* (2014) Functioning of ecotonic systems of the coast of the Tsimlyansk reservoir. Arid ecosystems, no. 4 (61), pp. 24–35. (In Russ.)
16. Подольский С.А., Игнатенко С.Ю., Дарман Ю.А. и др. (2004) Проблемы охраны и изучения диких животных при создании горных водохранилищ на примере Бурейского гидроузла / Под ред. С.А. Подольского. М.: РАСХН.  
*Podolsky S.A., Ignatenko S.Yu., Darman Yu.A. et al.* (2004) Problems of protection and study of wild animals in the creation of mountain reservoirs on the example of the Bureysky hydroelectric complex. Ed. by S.A. Podolsky. Moscow: RAAS. (In Russ.)
17. Стародубцев В.М. (1986) Влияние водохранилищ на почвы. Алма-Ата: Наука.  
*Starodubtsev V.M.* (1986) The influence of reservoirs on soils. Alma-Ata: Science. (In Russ.)
18. Starodubtsev V.M., Petrenko L.R., Fedorenko O.L. (2004) Dams and Environment: Effects on Soils. Kyiv: Nora-Print.
19. Данилов-Данильян В.И., Болгов М.В., Дубинина В.Г. и др. (2006) Оценка допустимых изъятий стока в бассейнах малых рек: основные методические положения // Водные ресурсы. № 2. С. 224–238.  
*Danilov-Danilyan V.I., Bolgov M.V., Dubinina V.G. et al.* (2006) Assessment of permissible flow withdrawals in small river basins: basic methodological provisions. Water resources, no. 2, pp. 224–238. (In Russ.)
20. Дубинина В.Г., Катунин Д.Н., Жукова С.В., Кочкиков В.Н. (2011) Оценка негативных последствий антропогенного воздействия на водные экосистемы и их биоресурсы // Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования // Сб. науч. трудов Всероссийской науч. конференции. 25–30 июля 2011 г. Калининград: Капрос. С. 464–474.  
*Dubinina V.G., Katunin D.N., Zhukova S.V., Kochikov V.N.* (2011) Assessment of the negative consequences of anthropogenic impact on aquatic ecosystems and their bioresources. Sustainability of water bodies, catchment and coastal territories; risks of their use. Collection of scientific proceedings of the All-Russian Scientific Conference. July 25–30, 2011. Kaliningrad: Kapros. Pp. 464–474. (In Russ.)
21. Новикова Н.М., Волкова Н.А., Назаренко О.Г. (2015) К методике изучения и оценки воздействия водохранилищ на природные комплексы побережий // Аридные экосистемы. № 4 (65). С. 84–94.  
*Novikova N.M., Volkova N.A., Nazarenko O.G.* (2015) On the methodology of studying and assessing the impact of reservoirs on natural complexes of coasts. Arid ecosystems, no. 4 (65), pp. 84–94. (In Russ.)
22. Подольский С.А. (2003) Методические основы мониторинга и охраны животного населения в зоне влияния проектируемого Бурейского водохранилища // Труды Государственного природного заповедника Буреинский. № 2. С. 125–131.  
*Podolsky S.A.* (2003) Methodological foundations of monitoring and protection of the animal population in the zone of influence of the projected Bureysky reservoir. Proceedings of the Bureinsky State Nature Reserve, no. 2, pp. 125–131. (In Russ.)
23. Природные комплексы побережья Цимлянского водохранилища / Под ред. Н.М. Новиковой. М.: Агронаучсервис, 2014.  
Natural complexes of the coast of the Tsimlyansk reservoir. Ed. by N.M. Novikova. Moscow: Agronauchservice, 2014. (In Russ.)
24. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. (2010) Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир.  
*Danilov-Danilyan V.I., Khranovich I.L.* (2010) Water resources management. Coordination of water use strategies. Moscow: Scientific world. (In Russ.)
25. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения. Коллективная монография / Под ред. В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020.

- Diffuse pollution of water bodies: problems and solutions. Collective monograph. Ed. by V.I. Danilov-Danilyan. Moscow: RAS, 2020. (In Russ.)
26. *Никитина О.И.* (2021) Влияние регулирования стока на водные экосистемы бассейна Амура и меры по их сохранению // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИВП РАН.  
*Nikitina O.I.* (2021) The impact of flow regulation on the aquatic ecosystems of the Amur basin and measures for their conservation. Abstract. dis. ... candidate of Geographical Sciences. Moscow: IWP RAS. (In Russ.)
  27. *Каражанов К.Д.* (1977) Особенности почвообразования в дельтах рек пустынной зоны Казахстана // Известия АН КазССР. Серия биологическая. № 1. С. 59–65.  
*Karazhanov K.D.* (1977) Features of soil formation in the river deltas of the desert zone of Kazakhstan. Izvestia of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. Biological series, no. 1, pp. 59–65. (In Russ.)
  28. *Novikova N.M., Kuz'mina Zh.V., Mamutov N.K.* (2023) Desertification of the Amu Darya River Delta and Vegetation Dynamics in the Conditions of the Aral Sea Crisis. *Arid ecosystems*, vol. 13, pp. 371–385.
  29. *Novikova N.M., Kuz'mina Zh.V.* (2008) Monitoring of the vegetation in conditions of the Aral Sea ecological crisis. Moscow: RAAS.
  30. Экотонные системы “вода–суша”: методика исследований, структурно-функциональная организация и динамика / Под ред. Н.М. Новиковой. М.: КМК, 2011.  
Ecotonic systems “water–land”: research methodology, structural and functional organization and dynamics. Ed. by N.M. Novikova. Moscow: KMK, 2011. (In Russ.)
  31. *Назаренко О.Г., Новикова Н.М., Рыльчиков А.С.* (2008) Сравнительная характеристика морфологических свойств почв подтопленных территорий Цимлянского водохранилища // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. № 12. С. 34–40.  
*Nazarenko O.G., Novikova N.M., Rylshchikov A.S.* (2008) Comparative characteristics of morphological properties of soils of flooded territories of the Tsimlyansk reservoir. *Land management, cadastre and monitoring of lands*, no. 12, pp. 34–40. (In Russ.)
  32. *Новикова Н.М., Назаренко О.Г.* (2013) Природные комплексы побережий искусственных водоёмов на юге европейской части России // Аридные экосистемы. № 3. С. 35–62.  
*Novikova N.M., Nazarenko O.G.* (2013) Natural complexes of the coasts of artificial reservoirs in the south of the European part of Russia. *Arid ecosystems*, no. 3, pp. 35–62. (In Russ.)
  33. *Новикова Н.М., Уланова С.С.* (2012) Искусственные водоёмы Калмыкии: режим, использование, природоохранное значение // Изменение природной среды России в XX веке. М.: Молнет. С. 288–306.  
*Novikova N.M., Ulanova S.S.* (2012) Artificial reservoirs of Kalmykia: regime, use, environmental significance. *Changing the natural environment of Russia in the twentieth century*. Moscow: Molnet. Pp. 288–306. (In Russ.)
  34. Цимлянское водохранилище: состояние водных и прибрежных экосистем, проблемы и пути решения / Ред. Г.Г. Матишов. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2011.  
The Tsimlyansk reservoir: the state of aquatic and coastal ecosystems, problems and solutions. Ed. by G.G. Matishov. Rostov-on-Don: SSC RAS, 2011. (In Russ.)
  35. *Шумова Н.А.* (2013) Прогнозные и наблюдаемые смещения береговой линии Цимлянского водохранилища // Аридные экосистемы. № 3 (56). С. 43–50.  
*Shumova N.A.* (2013) Forecast and observed displacements of the coastline of the Tsimlyansk reservoir. *Arid ecosystems*, no. 3 (56), pp. 43–50. (In Russ.)
  36. *Уланова С.С.* (2023) Водные ресурсы Республики Калмыкия: современное состояние и использование // Экосистемы: экология и динамика. № 4. С. 29–58.  
*Ulanova S.S.* (2023) Water resources of the Republic of Kalmykia: current state and use // *Ecosystems: ecology and dynamics*, no. 4, pp. 29–58. (In Russ.)
  37. *Уланова С.С.* (2010) Эколого-географическая оценка искусственных водоёмов Калмыкии и экотонных систем “вода–суша” на их побережьях. М.: РАСХН.  
*Ulanova S.S.* (2010) Ecological and geographical assessment of artificial reservoirs of Kalmykia and ecotonic systems “water–land” on their coasts. Moscow: RAAS. (In Russ.)
  38. *Шаповалова И.Б.* (2013) Орнитофауна экотонной системы побережья Цимлянского водохранилища // Материалы Московского городского отделения РГО. № 17. С. 104–119.  
*Shapovalova I.B.* (2013) Ornithofauna of the ecotone system of the coast of the Tsimlyansk reservoir. *Materials of the Moscow City Department of the Russian Geographical Society*, no. 17, pp. 104–119. (In Russ.)
  39. *Груздева Л.П., Груздев В.С., Павлова Е.О.* (2005) Барьерные функции экотонных систем и их роль в оптимизации агроландшафтов // Научное и кадровое обеспечение земельно-имущественного комплекса России. Материалы Международной конференции. М.: ГУЗ. С. 141–145.  
*Gruzdeva L.P., Gruzdev V.S., Pavlova E.O.* (2005) Barrier functions of ecotones and their role in optimizing agricultural landscapes. *Scientific and personnel support of the land and property complex of Russia*. Materials of



- the International Conference. Moscow: State University of Land Use Planning. Pp. 141–145. (In Russ.)
40. Голуб В.Б., Чувашов А.В., Бондарева В.В. и др. (2020) Изменения состава флоры Волго-Ахтубинской поймы после зарегулирования водного стока р. Волги // Аридные экосистемы. № 1 (82). С. 54–61.  
*Golub V.B., Chuvashov A.V., Bondareva V.V. et al.* (2020) Changes in the composition of the flora of the Volga-Akhtuba floodplain after the regulation of the water flow of the Volga River. Arid ecosystems, no. 1 (82), pp. 54–61. (In Russ.)
  41. Фащевский Б.В. (2019) О допустимых преобразованиях в речных экосистемах // Учёные записки РГГМУ. 2019. № 34. С. 93–102.  
*Fashevsky B.V.* (2019) On permissible transformations in river ecosystems. Proceedings of RSHU, no. 34, pp. 93–102. (In Russ.)
  42. Комплексные исследования Новосибирского водохранилища / Под ред. Ю.И. Подлипского, Т.С. Чайковской. М.: Гидрометеиздат, 1985.  
Comprehensive studies of the Novosibirsk reservoir. Ed. by Yu.I. Podlipsky, T.S. Tchaikovskaya. Moscow: Hydrometeizdat, 1985. (In Russ.)
  43. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / Ред. О.Ф. Васильева. Новосибирск: СО РАН, 2014.  
Long-term dynamics of the water-ecological regime of the Novosibirsk reservoir. Ed. By O.F. Vasilyeva. Novosibirsk: SB RAS, 2014. (In Russ.)
  44. Духовный В.А. (2017) Роль воды в функционировании экологической системы аридных территорий Центральной Азии // Проблемы освоения пустынь. № 3–4. С. 81–83.  
*Dukhovny V.A.* (2017) The role of water in the functioning of the ecological system of arid territories of Central Asia. Problems of desert development, no. 3–4, pp. 81–83. (In Russ.)
  45. Глазовский Н.Ф. (1990) Аральский кризис: причины возникновения и пути выхода. М.: Наука.  
*Glazovsky N.F.* (1990) The Aral crisis: causes and ways out. Moscow: Science. (In Russ.)
  46. The Aral Sea. The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great Lake. Ed. by P. Micklin, N.V. Aladin and I. Plotnikov. Berlin: Springer-Verlag, 2014. Pp. 111–135.
  47. Данилов-Данильян В.И., Рейф И.Е. (2018) Биосфера и цивилизация. В тисках глобального кризиса. М.: Едиториал УРСС.  
*Danilov-Danilyan V.I., Reif I.E.* (2018) Biosphere and civilization. In the grip of the global crisis. Moscow: Editorial URSS. (In Russ.)
  48. Авакян А.Б. (1991) Народнохозяйственные и экологические последствия спуска водохранилищ // Гидротехническое строительство. № 8. С. 1–8.  
*Avakian A.B.* (1991) National economic and environmental consequences of the descent of reservoirs. Hydrotechnical construction, no. 8, pp. 1–8. (In Russ.)
  49. Попов А.Н., Штыков В.И. (2012) К вопросу о ликвидации водохранилищ и последующей рекультивации их ложа и береговой полосы. Сообщение 1. К вопросу о ликвидации водохранилищ и возможных экологических последствиях при реализации мероприятия // Водное хозяйство России. № 5. С. 30–40.  
*Popov A.N., Shtykov V.I.* (2012) On the issue of the liquidation of reservoirs and the subsequent reclamation of their beds and shorelines. Message 1. On the issue of liquidation of reservoirs and possible environmental consequences during the implementation of the event. Water management of Russia, no. 5, pp. 30–40. (In Russ.)
  50. Коронкевич Н.И., Малик Л.К., Барабанова Е.А. (1995) Прогноз последствий разрушения гидроузлов // Известия РАН. Серия географическая. № 6. С. 39–48.  
*Koronkevich N.I., Malik L.K., Barabanova E.A.* (1995) Prognosis of consequences of destruction of hydroelectric power plants. Izvestiya RAS. Geographical series, no. 6, pp. 39–48. (In Russ.)
  51. Малик И.К. (2005) Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. М.: Наука.  
*Malik I.K.* (2005) Risk factors for damage to hydraulic structures. Security problems. Moscow: Nauka. (In Russ.)
  52. Беликов В.В., Алексюк А.И. (2020) Модели мелкой воды в задачах речной гидродинамики. М.: РАН.  
*Belikov V.V., Alekseyuk A.I.* (2020) Shallow water models in problems of river hydrodynamics. Moscow: RAS. (In Russ.)
  53. Беликов В.В., Алексюк А.И., Борисова Н.М. и др. (2023) Численное моделирование течений и деформаций дна в бьефах гидроузлов. М.: ЯНУС-К.  
*Belikov V.V., Alekseyuk A.I., Borisova N.M. et al.* (2023) Numerical modeling of bottom currents and deformations in the waterworks. Moscow: JANUS-K. (In Russ.)

## ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF THE CREATION AND DISCHARGE OF RESERVOIRS IN THE STEPPE ZONE

V.I. Danilov-Danilyan<sup>a,\*</sup>, N.M. Novikova<sup>a,\*\*</sup>, O.G. Nazarenko<sup>b,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*State Center of agrochemical service "Rostovsky", village "Rassvet", Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: vidd38@yandex.ru*

<sup>\*\*</sup>*E-mail: nmnovikova@gmail.com*

<sup>\*\*\*</sup>*E-mail: nazarenkoo@mail.ru*

The article examines the environmental consequences of the construction and operation of reservoirs – the responses of aquatic and terrestrial ecosystems and their components to changes in the water regime. Such reactions depend on the surrounding landscape and are zonally specific. They are especially pronounced in the steppe zone. The authors systematized the consequences, natural and anthropogenic factors determining their evolution, measures to minimize negative environmental consequences that can be traced from the upper reaches of the reservoir to the reservoir – receiver of the river flow, where it is built. In particular, the decrease in bioproductivity and biodiversity caused the problem of reservoir drainage. As a result of lengthy discussions, an opinion has been formed that the descent of small reservoirs, which have lost their importance, as well as orphan ones, is currently environmentally justified. At the same time, it is necessary to carry out special hydro-reclamation and phytomeliorative measures aimed at stabilizing the hydrological and ecological situation.

**Keywords:** environmental transformation, aquatic ecosystems, ecotonic ecosystems, bioproductivity, biodiversity, upstream, downstream, flooding, siltation, salinization, soil hydromorphism, vegetation, fauna.

---

---

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

---

---

## МИКРОВОЛНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КОСМОСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КВАНТОВЫХ ДВИЖИТЕЛЯХ

© 2024 г. С.В. Авакян<sup>a,\*</sup>, Л.А. Баранова<sup>b,\*\*</sup>, В.В. Ковалёнок<sup>c,\*\*\*</sup>,  
В.П. Савиных<sup>d,\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Всероссийский научный центр “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>b</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>c</sup>Федерация космонавтики России, Москва, Россия

<sup>d</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

\*E-mail: SVANANRA@yandex.ru

\*\*E-mail: l.baranova@mail.ioffe.ru

\*\*\*E-mail: fkr1978@yandex.ru

\*\*\*\*E-mail: vp@miigaik.ru

Поступила в редакцию 22.02.2024 г.

После доработки 22.03.2024 г.

Принята к публикации 01.04.2024 г.

В статье с привлечением развитого в последние годы подхода — супрамолекулярной физики окружающей среды представлены результаты рассмотрения вклада процессов физической оптики в формирование вынужденного микроволнового излучения двух наиболее мощных космических тепловых источников: фонового (реликтового) потока в абсолютном миллиметровом максимуме спектра и радиопотока мм-диапазона от Солнца. Учёт постулата А. Эйнштейна о возникновении кванта вынужденного испускания в среде с установившимся тепловым равновесием позволил на основе принципов теории подобия Г.С. Голицына количественно обосновать схему использования микроволновой энергетики межзвёздной/межпланетной среды при космических перелётах.

На основе физики столкновений в реакции переноса протона у основных простых гидридов в межзвёздных/межпланетных молекулярных облаках предложено иметь в виду возможность проявления дополнительного канала для мазерного эффекта в такой среде, впервые рассмотренного В.А. Амбарцумяном в 1979 г. в связи с близким расположением электронно-возбуждённых ридберговских уровней для молекул в этих облаках. Принята во внимание пионерская работа Н.С. Кардашёва о ридберговских переходах при излучении рекомбинационных радиолний, приведшая к открытию усилиями астрономов Физического института им. П.Н. Лебедева РАН и Главной (Пулковской) обсерватории РАН микроволнового потока от объектов дальнего космоса. Обсуждаются реальная энергетика и схемы использования микроволнового квантового движителя с возможностью выбора направления перелётов.

**Ключевые слова:** микроволновое реликтовое излучение, излучение межзвёздных молекулярных облаков, мм-излучение Солнца, вынужденное (индуцированное) испускание и “тёмная” энергия, микроволновое излучение и дальние космические перелёты, квантовый движитель.

DOI: 10.31857/S0869587324040047, EDN: GEUDTG

---

АВАКЯН Сергей Вазгенович — доктор физико-математических наук, иностранный член НАН Республики Армения, главный конструктор ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова в международном проекте “Космический солнечный патруль”. БАРАНОВА Любовь Александровна — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории процессов атомных столкновений ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. КОВАЛЁНОК Владимир Васильевич — кандидат военных наук, лётчик-космонавт СССР, член президиума ФКР, главный научный консультант в международном проекте “Космический солнечный патруль”. САВИНЫХ Виктор Петрович — академик РАН, лётчик-космонавт СССР, президент МИИГАиК, главный научный консультант в международном проекте “Космический солнечный патруль”.



Основная (более 90%) доля известной электромагнитной энергии космоса сосредоточена в микроволновом диапазоне в виде реликтового излучения (РИ) на длинах волн от долей до нескольких мм. В работах [1–6] нами предложено использовать микроволновую энергетику космического пространства для дальних космических перелётов. При полётах же к Марсу и далее, вплоть до пояса астероидов, эффективным может оказаться использование потока мм-излучения Солнца. В обоснование этих идей энергетика межзвёздных молекулярных облаков рассматривается с позиций супрамолекулярной физики<sup>1</sup> образования надмолекулярных структур — ассоциатов из молекулы  $H_2$  и простых гидридов (молекулы воды, аммиака и метана) при воздействии на них внешнего микроволнового излучения. Мы учитываем возможность активного протекания в космической среде химических реакций [7, 8] с добавлением протона соседней молекулы (из-за высокого к нему родства). Образующиеся ионы затем нейтрализуются захватом электрона на ридберговскую орбиту с последующим рождением полиатомного комплекса — “ридберговской (возбуждённой) в высоколежащее электронное состояние) молекулы” [7, с. 457]. Такой подход позволил впервые количественно обосновать возможность использования микроволновой энергетики межзвёздной/межпланетной среды в работе квантового движителя при космических перелётах [5, 6].

Здесь прослеживается аналогия с супрамолекулярной химией<sup>2</sup>, в которой присутствует понятие молекулярной протоники: “перенос протонов имеет фундаментальное значение в биоэнергетике живого организма, направляя транспортные процессы и синтез АТФ — аденозинтрифосфорной кислоты — поставщика химической энергии для биохимических и физиологических процессов в организме” [10, с. 147]. В рамках супрамолекулярной химии принципиально сложны вопросы о роли и каналах влияния окружающей среды (в том числе основного космофизического фактора — вариаций солнечно-геомагнитной активности) в процессах ассоциатообразования. Затруднительны для объяснения и наблюдаемые экспериментально явления в среде обитания в условиях малых внешних воздействий, к которым можно отнести многие естественные и антропогенные источники. На помощь в поиске ответов может прийти супрамолекулярная физика,

в рамках которой признаются осуществимыми реакции на внешний источник микроволн.

Развитие супрамолекулярной физики началось с наших исследований излучения земной ионосферы, возмущённой в периоды вспышек на Солнце и мировых магнитных бурь. Эти работы проводились в интересах физики солнечно-погодно-климатических и биосферных связей и стали возможны в первую очередь благодаря пилотируемой космонавтике [11]. Констатировалось, например, что “изменения внеатмосферной солнечной радиации — требующий учёта климатообразующий фактор. Вклад этих изменений в радиационное воздействие обусловлен главным образом усилением во второй половине XX века внеатмосферной инсоляции” [12, с. 157, 158].

Итак, супрамолекулярная физика — физика за пределами молекулы (атомно-молекулярного остова), в эволюции которой к надмолекулярным структурам (кластерам, ассоциатам) принимает участие внешний поток микроволнового излучения, поглощаемый ридберговски возбуждённым компонентом молекулярного комплекса, с усилением его стабильности [9]. Это достигается благодаря тому, что при поглощении кванта микроволн растёт орбитальный момент электрона ( $l$ ). Электрон реже проникает в ионный остов, и поэтому выход кластеров увеличивается. Таким образом, учитывается энергия кулоновского взаимодействия в среде, аккумулируемая в образующемся полиатомном комплексе, возбуждённом в очень высокое энергетическое электронное состояние, близкое к границе ионизации, то есть заведомо более  $\sim 10$  эВ. Длительность этого состояния достигает 10 сек [13, с. 281], что легко реализуемо как раз в сильно разрежённой межзвёздной (межпланетной) среде [14, с. 123–126], где примерно половина массы водорода находится в молекулярной форме.

Ещё Дж. Максвеллом в 1874 г. фактически был предугадан используемый нами супрамолекулярный подход, применимый как к окружающей среде, так и к космическому пространству: «...Атомы... случайными объятиями породили всё, что есть. И хотя они, кажется, цепляются друг за друга и формируют здесь “ассоциации”, да рано или поздно они рвут свою привязь, в пользу *глубин космической карьеры*»<sup>3</sup> (выделено нами — *авт.*). Что это, как не предложение учитывать использование супрамолекулярного подхода не только при изучении окружающей среды, но и межзвёздных молекулярных облаков? [5]. Мы специально выделили высказывание Максвелла о роли в космическом пространстве ассоциатов, чтобы привлечь внимание к работе К.Э. Циолковского, который начиная с 1919 г. [16] “...весьма опре-

<sup>1</sup> Термин “супрамолекулярная физика” был предложен нами в 2016 г. в ходе проходившей в Санкт-Петербурге международной конференции “Проблемы геокосмоса”.

<sup>2</sup> Супрамолекулярная химия изучает образование, структуру и свойства частиц, формирующихся в результате избирательной ассоциации двух и более молекул или различных фрагментов одной и той же молекулы за счёт невалентных взаимодействий: водородных связей, электростатических, дисперсионных и гидрофобных сил, образования металлокомплексов, инкапсуляции одной молекулы другими молекулами и т.д. (*Большая российская энциклопедия*.)

<sup>3</sup> “...The atoms...by fortuitous embraces, Engendered all that being hath, And though they seem to cling together, And form ‘associations’ here, Yes, soon or late, they burst their tether, And through the depths of space career” (цитируется по [15, с. 217]).

делённо формулирует свои доводы о возможности концентрирования и практического использования рассеянной энергии окружающей среды: ...все химические процессы обратимы... без всякой видимой затраты, то есть за счёт окружающих холодных масс, при участии разных сил природы, тяжести, движения и проч.” (цитируется по [17, с. 37]).

Что касается “тёмной энергии” (термин введён в 1998 г.), то при интерпретации её возможной природы и выполнении количественной оценки потока скрытой энергии Вселенной нами использован постулат А. Эйнштейна (1916) о процессе вынужденного испускания в среде с установившимся тепловым равновесием [2]. Согласно утверждению американского физика Дж.А. Веллера, эффект тёмной энергии просто не имеет права на существование, ибо “никакое элементарное явление нельзя считать явлением, пока оно не будет наблюдаемым” [18, с. 535]. Здесь уместно уточнить историю научного открытия явления тёмной материи. Её существование было обнаружено в Тартуской обсерватории известным эстонским астрономом Е. Эпиком [19]. Именно он первым обратил внимание на тот факт, что количество светящейся материи в космических структурах (галактиках, скоплениях галактик) не всегда соответствует картине гравитационного взаимодействия звёзд в этих структурах в соответствии с законом Ньютона. Естественно, это явление и наблюдаемо, и измеряемо!

Единство модельного толкования в различных научных отраслях признано в отечественной науке об окружающем мире, в том числе с точки зрения теории подобия, развитой Г.С. Голицыным [20, 21]. В двух других его работах [22, 23] приводятся факты, анализ которых позволил достичь убедительных результатов в области статистических законов природы. В соответствии с ними “в больших размерах мироздание стремится устроиться по общим законам” [22, с. 95]. Такой подход Г.С. Голицын применил, например, при интерпретации Большого красного пятна на Юпитере как долгоживущего свободного вихря в атмосфере этой планеты, в некоторых чертах подобного тем, которые изучаются в климатологии Земли [23, 24].

История открытия реликтового (микроволнового) излучения Вселенной также связана с вкладом отечественных учёных, в частности, Г.А. Гамова и Т.А. Шмаонова [5]. В середине 1940-х годов Г.А. Гамов опубликовал работу, в которой предложил модель так называемой горячей начальной фазы космологического расширения [25]. Тремя десятилетиями позднее в нобелевской лекции американский астрофизик А.А. Пензиас (1978) [26], удостоенный награды за открытие космического микроволнового фонового излучения, упоминая работу Гамова, также отметил статью А.Г. Дорошкевича и И.Д. Новикова (1964) как первое опубликованное признание реликтового излучения в качестве обна-

руживаемого явления в радиодиапазоне [27]. По признанию А.А. Пензиаса, “в этой замечательной статье не только выведен спектр реликтового излучения как чернотельного радиоволнового явления, но также сконцентрировано внимание на двадцатифутовом рупорном рефлекторе лаборатории “Белл” в Кроуфорд Хилл как наиболее подходящем инструменте для его обнаружения!” [26, с. 590]. Именно с помощью этого инструмента РИ было обнаружено в 1965 г. [28]. Заметим, что рупорный рефлектор лаборатории “Белл” был подобен антенне, которую использовал открывший это космическое радиоизлучение на длине волны 3.2 см восемью годами раньше в то время аспирант Пулковской обсерватории, а позднее сотрудник Института радиотехники и электроники АН СССР Т.А. Шмаонов [29].

Ниже мы обсудим вклад процессов физической оптики в формирование вынужденного микроволнового потока двух наиболее мощных тепловых космических источников — реликтового излучения Вселенной и мм-радиоизлучения Солнца — а также пути возможного практического использования микроволновой энергетики межзвёздных/межпланетных молекулярных облаков в интересах дальних космических перелётов. Подход к обоснованию этой идеи (с использованием супрамолекулярной физики образования надмолекулярных структур) развивается в ГОИ им. С.И. Вавилова с 2004–2008 гг. и вначале был апробирован для нужд физики солнечно-земных связей при решении актуальных вопросов климатологии и гелиобиологии (при этом учитывался внешний источник микроволн, прежде всего эмиссионное излучение земной ионосферы). Рассматривается также возможность использования индуцированного компонента реликтового излучения в работе перспективных квантовых движителей и концепция выбора направления перелёта космического аппарата, оснащённого таким движителем с бортовым лазером, создающим дополнительный “мазерный эффект” в поле космического микроволнового излучения [1–5]. При этом мы берём за основу квантово-механические подходы и расчётные оценки фундаментальной физической оптики взаимодействия электромагнитного излучения с межзвёздной газовой средой с учётом процессов, исследуемых физикой атомных столкновений.

**Ассоциатобразование в биофизике и окружающей среде.** Развитие супрамолекулярной физики космического пространства предполагает изучение энергетики ридберговских молекул из числа простых гидридов (молекул воды, аммиака и метана) при их взаимодействии с микроволновым излучением космоса, микроволнового излучения земной ионосферы, возмущённой в периоды вспышек на Солнце и мировых магнитных бурь, а также физики солнечно-погодного-климатических и биосферных связей. В гелиобиологии без ответа долго оставался вопрос об агенте воздействия факторов гелио-

геофизической активности на живые организмы, поэтому в ГОИ при решении указанных проблем в 1994 г. было предложено учитывать новый фактор — микроволновую эмиссию с возбуждённых ридберговских состояний атомов молекул ионосферы Земли, возмущённой под действием коротковолнового излучения Солнца и корпускулярных высыпаний, в основном электронов из радиационных поясов [30].

Напомним, что ридберговские электронные состояния всех атомов, молекул, их ионов, их агрегатов (ассоциатов, кластеров) отличаются крайне высокой потенциальной энергией (близкой к потенциалу ионизации, то есть заведомо выше 10 эВ) и очень высокой чувствительностью [31, с. 354] к внешнему микроволновому излучению благодаря близкому взаимному расположению соседних ридберговских электронных уровней. В монографии [32] отмечено, что в межзвёздной среде ридберговский атом можно наблюдать с помощью инструментов радиоастрономии при его образовании в момент рекомбинации электрона с ионным остовом. Эта идея была теоретически обоснована в 1959 г. Н.С. Кардашёвым [33], а позднее составила предмет Научного открытия СССР сотрудниками ГАО РАН и Аэрокосмического центра ФИАН с приоритетом 1964 г. [13].

В статье [34] были представлены результаты, как оказалось, пионерского исследования учёта возможности микроволнового вынужденного излучения с электронных ридберговских состояний. По дате поступления она на 2 месяца опередила первую публикацию астрофизиков на эту тему [35]. Именно учёт способности ридберговски возбуждённых состояний поглощать и испускать, в том числе в виде индуцированного (вынужденного) излучения, кванты микроволнового диапазона в разрешённых переходах с изменением орбитального квантового числа  $l$  на единицу, составляет главную особенность идеи, развиваемой в серии наших работ в области супрамолекулярной физики образования надмолекулярных структур в газовых и конденсированных средах. Это связано с резким ростом (до порядка величины) выхода стабильных комплексов — агрегатов, ассоциатов, кластеров при увеличении орбитального момента ридберговского электрона при  $l > 2$ , что связывается с падением степени проникновения его орбиты в ионный остов [9]. Промежуточный захват электрона, нейтрализующего заряд присоединённого протона, осуществляется уже через  $10^{-12}$  с. Присоединение протона связывается с высокой величиной сродства к нему всех трёх упоминавшихся выше гидридов: для молекул воды, аммиака и метана, соответственно 7.1, 8.8, 5.3 эВ, для водорода 4.4 эВ [8].

**О перспективах развития космонавтики с учётом микроволнового излучения Вселенной. Особенности микроволновой космической энергетики.** В развитие идеи о возможностях дальних космических перелё-

тов с использованием надмолекулярных структур, образующихся в соответствии с закономерностями супрамолекулярной физики, представим результаты исследования микроволновой энергетики межзвёздных/межпланетных молекулярных облаков. Похожая задача в 2020 г. была продекларирована в США при учреждении новой государственной организации — Института дальнего космоса (<https://www.limitlessspace.org>).

Интересно вернуться к работе [17], в которой отмечается, что в природе должны существовать какие-то процессы, приводящие к концентрации энергии в некоторых местах Вселенной за счёт других мест, и делается отсылка к работам В.А. Амбарцумяна: “Открытия академика В.А. Амбарцумяна... свидетельствующие о непрекращающемся групповом возникновении звёзд, показывают, что в материи содержится *неисчерпаемая способность к концентрации энергии и превращению рассеянной теплоты в другие формы энергии*” [17, с. 58]. Действительно, в своих работах В.А. Амбарцумян несколько раз обращался к вопросам, которые имеют отношение к теме нашей статьи — механизмам усиления интенсивности излучения межзвёздной среды. Например, при исследовании предположения И. Боуэна о возможности (при благоприятных условиях в газовых туманностях) накопления атомов в метастабильных состояниях, в результате чего соответствующие спектральные линии достигают большой интенсивности, им впервые были получены адекватные оценки этого эффекта. “Амбарцумян предсказал явление просветления среды под влиянием падающего на неё излучения” [17, с. 67]. В его докладе по случаю награждения Большой золотой медалью имени М.В. Ломоносова АН СССР (1971) обращено внимание на статью 1933 г. [37], где при построении теории возбуждения запрещённых линий были выявлены благоприятные условия для накопления атомов в метастабильных состояниях, в результате которых “соответствующие спектральные линии достигают большой интенсивности” [36, с. 486, 487]. Наш подход к микроволновой энергетике Вселенной находится в согласии и с другим исследованием Амбарцумяна, где, по-видимому, впервые (ещё в 1979 г.) рассматривались, с учётом “инверсии населённости возбуждённых состояний ...заметного отрицательного поглощения и наличия лазерного излучения”, возможности одновременного возникновения инверсии заселённости и большой оптической плотности в сравнительно холодных молекулярных облаках, “в соответствующих спектральных линиях космических мазеров — линиях гидроксила ОН, в водородных линиях паров воды, а также в некоторых других молекулярных линиях” [38, с. 167]. При этом резюмируется: “... радиоастрономия с успехом наблюдает радиоизлучение, возникающее между двумя уровнями с очень высокими главными квантовыми числами (порядка нескольких десятков)” [38, с. 166]. (Здесь прослежи-



вается связь с упоминавшейся пионерской работой Н.С. Кардашёва [33].) А ведь это в современной терминологии и есть ридберговские уровни!

Перечисленные выше работы В.А. Амбарцумяна имеют прямое отношение к идее нашего проекта перелётов с помощью космического движителя, использующего микроволновую (в данном случае тепловую) часть энергии космоса [4, 5]. Более того, предполагаемое использование мазерного эффекта в космосе на основе ридберговских полиатомных молекул (с возбуждённым электроном на ридберговской орбите до энергии более 10 эВ) следует в русле научного предвидения Циолковского, касающегося обстановки в дальнем космосе. “Весьма вероятно, что температура тела ракеты дойдёт до абсолютного нуля, то есть будет иметь 273° холода по Цельсию: движение молекул остановится, но это не значит, что движение их частей, и тем более протонов и электронов прекратится” [17, с. 58]. В нашем случае наличие электронов на ридберговских орбитах автоматически обеспечивает их ещё и крайне высокой потенциальной энергией.

*Об идее квантового движителя.* Для обсуждения практических целей — космических перелётов на базе энергетики космического пространства в [3–5] предложен новый термин — микроволновый квантовый движитель: устройство для преобразования энергии среды в работу по перемещению транспортного средства. Это определение развивает описание движителя в [39, с. 363]: “устройство для преобразования работы двигателя *или источника энергии* (курсив наш — авт.) в работу по перемещению транспортной машины”. Мы включаем в понятие источника энергии (наравне с энергетикой, заложенной самой Природой в феномены окружающей нас среды: течение вод, в том числе Мирового океана, наличие ветра, особенности рельефа суши и т.п.) и микроволновую энергетику Вселенной. Наша идея таких движителей включает в себя и их предлагаемое совмещение с электрическими ракетными двигателями (ЭРД), а также жидкостными ракетными двигателями (ЖРД). Предложено более десятка типов таких ЭРД, в частности, описанный в [40, с. 164].

*Принцип действия микроволнового квантового движителя (МКД).*

1. МКД работает с использованием запасённой природой энергии двух космических источников: реликтового излучения (РИ) Вселенной, при этом на миллиметровую область его спектра приходится абсолютный максимум, так что существенно больше 90% потока располагается в диапазоне длин волн от 0.6 до 6 мм [41]; мм-излучения — основной части всего теплового радиопотока от Солнца, оно мало изменяется со временем, за исключением короткой (~мин) фазы солнечной вспышки.

2. МКД не является двигателем в общепринятом (в том числе и в космонавтике) понимании, хотя мо-

жет иметь сопло; он не тепловой (или химический, ядерный и т.д.), но тоже вторичный, поскольку использует энергию природных ресурсов (в данном случае космоса), но не непосредственно, а от накопителя [39, с. 362] такой энергии (камеры захвата в нашей терминологии [5, с. 43]).

3. В нашем МКД вся микроволновая энергия космоса поступает в накопитель — “стакан” ограниченного диаметра; из соображений целесообразности пока выбран минимальный диаметр (2 м), что необычно мало для других подобных систем (солнечный парус, гелиоракетоплан и т.п.).

4. Начиная с первой авторской публикации по этой космологической тематике [1], как и во всех последующих наших статьях, обращено внимание на безусловную необходимость использования факта практического удвоения тепловых мм-потоков РИ в силу наличия дополнительного индуцированного (вынужденного) излучения по А. Эйнштейну, до нас его относили к тёмной, скрытой энергии Вселенной.

5. В тех же публикациях [1–6] показана возможная роль энергетики полиатомных ридберговских молекул [7], согласно экспериментальной работе по физической оптике [8], образующихся из простых гидридов и водорода — основного наполнения молекулярных облаков межзвёздной/межпланетной среды по модели Бюраканской астрофизической обсерватории НАН Армении [42]. Эта роль связывается нами с повышенным значением величины энергии сродства к протону, ибо, когда протон отнимается, то у образующейся супрамолекулы его заряд быстро ( $10^{-12}$  с) нейтрализуется в процессе “кулоновской” рекомбинации с электроном, который вначале захватывается на высоколежащую (по энергии) ридберговскую орбиту.

При наличии “подсветки” мм-излучения (из-за отмечаемой очень высокой чувствительности ридберговски возбуждённых молекул к внешнему микроволновому излучению [7, 31]) этот процесс приводит к более вероятному появлению супрамолекулы (полиатомной ридберговской молекулы) [7], да ещё и в очень высоковозбуждённом состоянии, которое как минимум на 10 эВ больше энергии основного энергетического уровня атомно-молекулярного комплекса. В энергетике космических перелётов нами учтён [5] известный с 1979 г., благодаря пионерской работе В.А. Амбарцумяна [38], ещё один канал мазерного эффекта в космосе. Он использует энергетику чисто кулоновского взаимодействия ненадолго разделённых зарядов — протона и электрона — под “присмотром” даровой энергии космоса. Тем самым в нашем предложении схемы быстрых космических перелётов полностью отсутствует какая-либо “новая физика”, а учитываются только хорошо известные физикам и астрофизикам подходы из радиоастрономии, космологии и фундаментальной физической оптики. В [43] подчёркнуто,



что В.А. Амбарцумян принял решение о создании отдела радиоастрономии в Бюраканской обсерватории в рамках наблюдательных работ по космологии. Именно в рамках этих исследований, включая период взаимодействия с ФИАН в 1964–1968 гг., был разработан квантовый усилитель на волне 21 см со связанными активными резонаторами, успешно применённый, как первый в СССР, в радиоастрономии. После старта советской космической программы в Институте радиофизики и электроники АН Армянской ССР в Аштараке была разработана специальная аппаратура для измерения параметров передающих систем, которая прекрасно работала на советских космических кораблях и на станции “Мир”.

*Микроволновое описание межзвёздных молекулярных облаков.* Для межзвёздных газопылевых облаков мы пользуемся моделью, апробированной в Бюраканской астрофизической обсерватории им. В.А. Амбарцумяна НАН Республики Армения [42]. Модель предполагает, что в их составе преобладает  $H_2$  с характерным диапазоном плотности газа порядка  $\sim 10^2$ – $10^4$  см $^{-3}$  (с содержанием пыли  $\sim 1\%$ ). Основным источником ионизации во внутренних частях облака при этом служат космические лучи, которые ионизируют атомы и молекулы водорода с образованием молекулярного иона  $H_3^+$ , инициирующего цепочку ион-молекулярных реакций с образованием молекул простых гидридов: воды, аммиака, метана. По-видимому, можно полагать в первом приближении, что состав межпланетных молекулярных облаков аналогичен, а плотность даже выше.

*Индукцированное микроволновое излучение межзвёздной среды.* Как известно, в 1916 г. А. Эйнштейн предположил возникновение индуцированного (вынужденного) излучения в среде с установившимся тепловым равновесием, кванты которого имеют ту же частоту и летят в том же направлении, что имело проходящее внешнее излучение. Мы распространили это предположение, вслед за [7, 31, 32], на миллиметровое излучение применительно к супрамолекулярному подходу. Согласно этим работам, молекулярные ассоциаты в ридберговских состояниях очень чувствительны (из-за большой величины матричных элементов для дипольных переходов между соседними ридберговскими уровнями) к воздействию внешнего микроволнового, начиная с миллиметрового диапазона, облучения, что и приводит к генерации индуцированного излучения. Поэтому возможно рассматривать аналог мазерного эффекта в космосе за счёт генерации вынужденного излучения с высоковозбуждённых уровней ридберговских молекул при прохождении квантов теплового равновесного излучения среды — фонового реликтового излучения Вселенной. Нами также учитывается оценка Д.А. Варшаловича, подчеркнувшего, что в космическом мазере накачка может быть связана “с поглощением излучения

ближайшего источника (включая звезду) или с протеканием в космосе химических реакций” (курсив наш — авт.) [41, с. 388]. Действительно, в проблеме использования квантового движителя мы рассматриваем водородную связь молекул с большим сродством к протону, которая и является одним из вариантов химической связи [9]. Для мазерного эффекта мы учитываем мм-излучение звезды с активностью современного Солнца, поток от которого практически весь равновесно-тепловой, исключая крайне короткую импульсную фазу солнечных вспышек. Это весьма близко к описанию ситуации с тепловым излучением в полости, для которой в [7, 31, 32] и получены используемые нами выводы о возможности генерации микроволнового потока.

В нашем случае большое сродство к протону позволяет считать, что для молекул, составляющих ассоциаты межзвёздных/межпланетных молекулярных облаков, первым шагом при их образовании становится перенос протона. Выход супрамолекул при этом определяется как раз уровнем “подсветки” от звезды (Солнца), что соответствует идее [41, с. 388], а в общем случае — микроволновому потоку реликтового излучения [5].

*Энергетика реликтового микроволнового излучения Вселенной в проблеме космических перелётов.* В работе [5] представлены количественные оценки ожидаемой энергетики при работе микроволнового квантового движителя для космических перелётов с использованием мм-излучения: реликтового и солнечного теплового радиопотока. Учитывалась возможность совместной работы движителя и ЭРД, ЖРД. Рассмотрена также возможность учёта в соответствии с постулатом А. Эйнштейна (1916) процесса индуцированного испускания (с участием среды — межзвёздных/межпланетных молекулярных облаков) квантов той же частоты, фазы и поляризации, движущихся в том же направлении, что и падающий поток квантов. Поскольку каждый распространяющийся квант способен сопровождаться вновь образующимся квантом индуцированного испускания, была выполнена расчётная оценка возможного вклада этого эффекта в величину тёмной энергии Вселенной [2]. Мы исходили из актуальности решения этой проблемы не только с позиции космологии, но и современного естествознания в целом, а также важности получения реальных результатов верификации постулата А. Эйнштейна об индуцированном испускании.

В работах [2, 5] показано, что, с учётом средней плотности  $10^3$  см $^{-3}$  для  $H_2$  и гидридов в среде передвижения космического аппарата (КА), ему может передаваться не более 0.005 Дж/м $^3$  микроволновой энергии РИ, при этом учитывается, что количество атомов в  $H_2O$  — три. При наличии камеры захвата налетающего потока диаметром 2 м суммарное значение поступающей энергии достигнет 0.15 Дж/м, что соответствует тяге в 0.15 Н. Полученная вели-

чина при сопоставлении с данными параметров ЭРД [40, с. 446] реально входит в диапазон вариаций табличных параметров тяги ЭРД: от 0.0001 до 1 Н. Тогда в паре с ЭРД, имеющим удельный импульс до 100 км/с и более (см. там же), это позволяет обеспечивать всю энергетику межпланетных перелётов за счёт совокупности тяги на рабочих средах — как РИ, так и плазмы в камере ЭРД. Здесь мы учитываем, что “проектные исследования показали целесообразность применения ЭРД в... качестве маршевых двигателей КА, совершающих... межпланетные перелёты” [40, с. 447]. Напомним, что оценочный расчёт сделан для величины средней плотности  $H_2$  и гидридов, а для её верхних по [42] значений ( $10^4$  и  $10^7$  см $^{-3}$ ) тяга квантового движителя на микроволновом РИ может достигать от 1.5 до 1500 Н.

В энциклопедии [44, с. 258–268] представлены варианты двигателя космического звездолёта, использующего в работе межзвёздный газ с вкладом скоростного напора (ram-effect), что может увеличить тягу и нашего квантового движителя в согласии с расчётными оценками [45] не менее чем в 2000 раз — от 3 кН до 3 МН даже при первой космической скорости. Реально величина скоростного напора может расти с увеличением скорости космического аппарата как минимум в линейной зависимости. Это позволяет рассчитывать на величины тяги (при 100 км/с) до 30 МН. Данное значение может, по-видимому, увеличиваться за счёт “подсветки” микроволновым шумовым излучением ЭРД при параллельном его функционировании. Такой шум исследовался на частотах ниже 20 ГГц [46]. Наши оценки показывают, что подобный шумовой поток микроволн может даже превышать поток РИ. Солнечный радиопоток (на орбите Земли) даёт на порядок большую (до  $10^7$  эВ) величину в энергетике потока квантов мм-диапазона, чем РИ, с достижением (при плотности межпланетной среды  $10^4$  см $^{-3}$ ) значения тяги от десятка кН, в том числе при полётах к Марсу.

При выборе направления перелёта космического аппарата с квантовым движителем предлагалось использовать бортовой лазер, задающий дополнительный мазерный эффект в космической среде [3, 4]. Действительно, луч, испускаемый таким лазером, способен на своём пути в среде межзвёздных облаков ионизовать все высоковозбуждённые ридберговские молекулы, в том числе и с малым сродством к протону. Далее следует обычный процесс нейтрализации с кулоновским захватом электрона в механизме диссоциативной рекомбинации с возбуждением многочисленных ридберговских состояний нейтральных молекул [15, 47, 48]. Следовательно, появляется увеличенное количество потенциальных вариантов вынужденного испускания в среде под действием реликтового микроволнового излучения. При этом продолжает работать и супрамолекулярный механизм мазерного эффекта с участием мо-

лекул с высоким сродством к протону: они вновь присоединяют протон, который нейтрализуется электроном с образованием ридберговской молекулы, способной к индуцированному испусканию кванта микроволн под воздействием реликтового микроволнового излучения либо внешнего микроволнового источника (звезда, включая Солнце), других галактических радиоисточников, включая магнетары [2]. А предлагаемое, с учётом отечественных проектных разработок, совмещение квантовых движителей с электрическими двигательными установками, а также жидкостными ракетными двигателями позволяет применять их для коррекции траектории в космических перелётах, в том числе при движении галактиками. Гипотетически, конечно, есть возможность использования подвижного (прицельного) сопла, с выбором направления полёта путём его соответствующей ориентации.

**Принципы оценки роли вынужденного испускания.** Согласно [49] при вынужденном (индуцированном) испускании [5] элементарные процессы изменения энергии атомных систем следует рассматривать как мгновенные, считая, что каждый процесс может произойти в любой момент времени независимо от остальных процессов того же типа (в рамках “статистической независимости случайных процессов”) [49, с. 79]. При полном тепловом (термодинамическом) равновесии в нём участвуют не только частицы вещества, но и излучение, находящееся в равновесии с веществом — равновесное (чернотельное) излучение. Равновесие вещества и излучения всегда осуществляется в некотором объёме: замкнутой полости, замкнутом, заполненном веществом объёме, если средний пробег квантов мал по сравнению с размерами объёма [49, с. 123]. Это практически всегда осуществляется для человеческого организма [9]. В случае космического реликтового микроволнового фона действующий масштаб вообще безграничен.

Вынужденное испускание обусловлено поглощаемым излучением. Поглощение и вынужденное испускание — вынужденные процессы, их отличие состоит в том, что под воздействием излучения при элементарном процессе поглощения число квантов уменьшается на единицу, а при элементарном процессе вынужденного испускания — увеличивается на единицу. Очень важно, что интенсивность спонтанного (всенаправленного) излучения (испускания) примерно на порядок ниже, чем индуцированного (вынужденного) [1–5]. Соотношения между коэффициентами, позволяющие вычислить вероятность спонтанного испускания, если известна вероятность поглощения, установлены, как упоминалось, в 1916 г. А. Эйнштейном и могут быть строго обоснованы методами квантовой электродинамики [49, с. 81].

В силу того, что вынужденное испускание квантов происходит в направлении распространения

падающего излучения той же частоты при сохранении поляризации, роль потока вынужденно испущенных квантов сводится к тому, что практически убыль числа квантов и мощность поглощения пучка на частоте падающего излучения становятся меньше [49, с. 117, 118], что и использовано нами при интерпретации возможной природы и выполнении количественной оценки потока скрытой (тёмной) энергии Вселенной [2].

\* \* \*

Подведём некоторые итоги.

1. Около полувека назад в серии научных изданий АН СССР “Планета Земля и Вселенная” [24] в рамках разработки теории принципов подобия была продемонстрирована эффективность возможной интерпретации проверенной в климатологии Земли самой известной детали Юпитера (Большое красное пятно) как долгоживущего свободного вихря в атмосфере [23, с.161]. Нашей статье предшествуют оригинальные публикации (см. например, [9]), где как раз и учитывалась теория принципов подобия [20–23] при исследовании проблем глобального потепления и медицинской биофизики. Сейчас на этой основе мы предложили подходы для получения новых результатов в современном естествознании и космической технике. Такая задача была изложена в докладе [6] и поддержана на Пятой международной конференции “Физика — наукам о жизни”, проходившей в октябре 2023 г. в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН.

2. Представлено развитие оригинальной супрамолекулярной физики космического пространства на основе введения в рассмотрение ридберговских молекул из числа простых гидридов (прежде всего молекул воды) при их взаимодействии с микроволновым излучением — реликтовым, а также солнечным миллиметровым. Тем самым предложена и обоснована схема супрамолекулярного подхода к микроволновой энергетике межзвёздных/межпланетных молекулярных облаков — основного наполнения Вселенной.

3. Принято во внимание, что реликтовое (фоновое) излучение имеет наивысший энергетический максимум как раз в микроволновом диапазоне (от 6 до 0.6 мм), при этом во Вселенной на каждый атом приходится до одного миллиарда квантов.

4. В рамках проблематики дальних космических перелётов введён новый термин — квантовый движитель, то есть устройство для преобразования энергии, микроволновых потоков Вселенной в работу по перемещению транспортного средства. Идея таких движителей включает в себя их предлагаемое совмещение с ЭРД, а также ЖРД. Для сокращения сроков полёта в межпланетных/межзвёздных перелётах важно, что ЭРД способны иметь исключительно высокий удельный импульс — до 100 км/с и более.

5. Выполнены оценки энергетики как реликтового, так и солнечного микроволнового излучения в интересах работы квантового движителя, достигающей при энергии кванта с длиной волны 1 мм величины  $10^6$ – $10^7$  эВ/атом. Оценён возможный вклад физико-химической механики эффекта скоростного напора в увеличение тяги самого квантового движителя. Предложенная схема межпланетного перелёта может стать основой для снижения на порядок величины достигнутого до сих пор минимального времени полёта к Марсу (около 130 суток).

6. В физике межзвёздных облаков предложено рассматривать не учитываемый до сих пор резервуар энергии космоса, который в современной космологии относят к скрытой энергии. По-видимому, тёмная энергия — это лишь не учитываемая часть потока вынужденного микроволнового излучения, обеспечивающая 100%-ный вклад в скрытую энергию Вселенной [2].

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность за поддержку работы академикам РАН Г.С. Голицыну, В.А. Драгавцеву и Г.А. Попову, академикам НАН Республики Армения Р.Б. Костаняну и Р.М. Мартиросяну, иностранному члену РАН, членам-корреспондентам РАН Ю.Ю. Ковалёву, И.Д. Новикову и А.В. Степанову, профессорам Г.А. Галечяну, А.З. Девдариани, Ю.В. Кулешову, Т.И. Ларченковой, Ю.А. Наговицыну, В.Е. Панчуку и доктору Г. Шмидтке (ФРГ).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Авакян С.В., Баранова Л.А.* Использование результатов супрамолекулярной солнечно-земной физики при решении космологических проблем: 1. Экспериментальные предпосылки. 2. Модельное описание // Труды XXV Всероссийской ежегодной научной конференции “Солнечная и солнечно-земная физика” / Под ред. А.В. Степанова, Ю.А. Наговицына. ГАО РАН, 2021. С. 23–30.  
*Avakyan S.V., Baranova L.A.* Using the results of supramolecular solar terrestrial physics in solving cosmological problems: 1. Experimental background. 2. Model description // Proc. of XXV All-Russian annual scientific conference “Solar and solar-terrestrial physics” / Eds. A.V. Stepanov, Yu.A. Nagovitsin. GAO RAS, 2021. P. 23–30. (In Russ.). DOI: 10.31725/0552-5829-2021-23-30.
2. *Авакян С.В., Баранова Л.А., Ковалёнок В.В., Савиных В.П.* Первооткрыватель роли ридберговского возбуждения микроволнового излучения в дальнем космосе. // Доклад на первом заседании конференции АКЦ ФИАН “Вселенная: от большого взрыва до наших дней”, посвящённой 90-летию академика Н.С. Кардашёва, 25–26 апреля 2022. М.: АКЦ ФИ РАН, 2022.



- Avakyan S.V., Baranova L.A., Kovalenok V.V., Savinykh V.P.* Pioneer of the role of the Rydberg excitation of microwave radiation in deep space // Conference AeroKosmic Center of FIAN on the occasion of the 90-th anniversary of Academician N.S. Kardashev "The Universe – from the Big Bang to the present day", April 25–26, 2022. M.: AKC FIAN. (In Russ.)
3. *Авакян С.В., Баранова Л.А.* Микроволновая энергетика межзвёздного/межпланетного пространства: модельное описание. // Труды XXVI Всероссийской ежегодной научной конференции "Солнечная и солнечно-земная физика", 3–7 октября 2022 / Под ред. А.В. Степанова, Ю.А. Наговицына. ГАО РАН, 2022. С. 331–336.  
*Avakyan, S.V., Baranova, L.A., 2022.* Microwave energetics of interstellar/interplanetary space: Model write-up // Proc. of XXVI All-Russian annual scientific conference "Solar and solar-terrestrial physics". 3–7 Oct. 2022 / Eds. A.V. Stepanov, Yu.A. Nagovitsin. GAO RAS, Pulkovo, 2022. P. 331–336. (In Russ.). DOI: 10.31725/0552-5829-2022-331-336
  4. *Авакян С.В., Баранова Л.А., Ковалёнок В.В., Савиных В.П.* Супрамолекулярная физика и микроволновое излучение космического пространства: к проблеме дальних полётов // Материалы VII Всероссийской научной конференции "Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля природной среды", 24–26 мая 2022 г. / Под ред. Ю.В. Кулешова. СПб.: Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, 2022. С. 292–300.  
*Avakyan S.V., Baranova L.A., Kovalenok V.V., Savinykh V.P.* Microwave radiation in the problem of long-range space flights // Proc. of the VII All-Russian scientific conference "Problems of military-applied geophysics and control of the natural environment, 24–26, May 2022. Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky. St. Petersburg, 2022. P. 292–300. (in Russ.)
  5. *Авакян С.В., Баранова Л.А.* Энергетика реликтового микроволнового излучения Вселенной в проблеме космических перелётов // Доклады НАН Республики Армения. 2023. Т. 123. № 1. С. 40–47.  
*Avakyan S.V., Baranova L.A.* Energetics of the relict microwave radiation of the Universe in the problems of space flights // Reports of the National Academy of Science of Armenia. 2023. V. 123. № 1. P. 40–47. DOI: 10.54503/0321-1339-2023.123.1-40
  6. *Авакян С.В., Баранова Л.А.* Микроволновые излучения в аспекте современного естествознания. Тезисы докладов Пятой международной конференции "Физика – наукам о жизни", 16–19 октября 2023 г. СПб.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2023.  
*Avakyan S.V., Baranova L.A.* Microwave radiation in the aspect of modern natural science. Abstracts of reports of the Fifth International Conference "Physics – Life Sciences", October 16–19, 2023. St. Petersburg: Ioffe Institute, 2023. (In Russ.)
  7. *Gallas J.A.C., Leuchs G., Wallher H., Figger H.* Rydberg atoms: high-resolution spectroscopy and radiation interaction – Rydberg molecules // Adv. Atomic and Molec. Phys. 1985. V. 20. P. 413–466.
  8. *Dabrowski I., Herzberg G.* The electronic emission spectrum of triatomic hydrogen // Canad. J. Phys. 1980. V. 58. № 8. P. 1238–1249.
  9. *Авакян С.В.* Супрамолекулярная физика окружающей среды: климатические и биофизические эффекты // Вестник РАН. 2017. № 5. С. 458–466.  
*Avakyan S.V.* Environmental Supramolecular Physics: Climatic and Biophysical Effects // Herald of the RAS. 2017. № 3. P. 276–283.
  10. *Лен Ж.-М.* Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, 1998.  
*Lehn J.-M.* Supramolecular chemistry. Concepts and Perspectives. Weinheim. N.-Y. Cambridge. VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1995.
  11. *Ковалёнок В.* Родина крылья дала. Документальная повесть. Минск Юнацтва, 1989.  
*Kovalenok V.* The Motherland Gave Wings. Documentary story. Minsk: Yunatstva, 1989. (In Russ.)
  12. *Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П.* Перспективы развития цивилизации. Многомерный анализ. М.: Логос, 2003.  
*Kondratyev K.Ya., Krapivin V.F., Savinykh V.P.* Prospects for the development of civilization. Multivariate analysis. M.: Logos, 2003. (In Russ.)
  13. *Миронова Г.А.* Конденсированное состояние вещества: от структурных единиц до живой материи. Т.1. М.: Физфак МГУ, 2004.  
*Mironova G.A.* Condensed state of matter: from structural units to living matter. V. 1. M.: Physical Department of MSU, 2004. (In Russ.)
  14. *Сороченко Р.Л., Гордон М.А.* Рекомбинационные радиолнии. Физика и астрономия. М.: Физматлит, 2003;  
*Gordon M.A., Sorochenko R.L.* Radio Recombination Lines: their physics and astronomical applications. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. 2002
  15. *Mitchell J.B.A.* The dissociative recombination of molecular ions // Physics Reports. 1990. V. 186. № 5. P. 215–248.
  16. *Циолковский К.Э.* Кинетическая теория света. Книга 3. Калуга: Известия Калужского общества изучения природы, 1919.  
*Tsiolkovsky K.E.* Kinetic theory of light. Book 3. Kaluga: News of the Kaluga Society for the Study of Nature, 1919. (In Russ.)
  17. *Гвай И.И.* К.Э. Циолковский о круговороте энергии / Отв. ред. П.К. Ощепков. М.: Изд-во АН СССР, 1957.  
*Gwai I.I.* K.E. Tsiolkovsky about the energy cycle / Rep. ed. P.C. Oshchepkov. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957. (In Russ.)

18. *Whelller J.A.*, Quantum and Universe // “Centenario di Einstein” 1879–1979 / *Astrofisica e Cosmologia, Gravitazione, Quanti e Relativita negli sviluppi del pensiero scientifico di Albert Einstein*. Giunti Barbera, Firenze, 1979; *Астрофизика, кванты и теория относительности* / Пер. с итал. под ред. Ф.И. Фёдорова. М.: Мир, 1982. С. 535–558.
19. *Гнедин Ю.Н.* Солнце как физическая лаборатория для поиска частиц тёмной материи // *Оптический журнал*. 2005. Т. 72. № 8. С. 20–32.  
*Gnedin Yu.N.* The sun as a physical laboratory for searching for dark matter particles // *Optical Journal*. 2005. V. 72. № 8. P. 20–32.
20. *Голицын Г.С.* Путь в науке об окружающем мире // *Вестник РАН*. 2021. № 1. С. 69–81.  
*Golitsyn G.S.* The Road in Environmental Science // *Herald of the RAS*. 2021. № 1. P. 1–12.
21. *Голицын Г.С.* Статистика и динамика природных процессов и явлений: методы, инструментарий, результаты. Изд. 2-е. М.: КРАСАНД, 2013.  
*Golitsyn G.S.* Statistics and dynamics of natural processes and phenomena: methods, tools, results. Ed. 2nd. M.: KRASAND, 2013. (In Russ.)
22. *Голицын Г.С.* Работа А.Н. Колмогорова 1934 г. — основа для объяснения статистики природных явлений микромира // *УФН*. 2024. Т. 194. № 1. С. 86–96.  
*Golitsyn G.S.* A.N.Kolmogorov’s 1934 paper is the basis for explaining the statistics of natural phenomena of macrocosm // *Physics-Uspekhi*. 2024. V. 67 P. 80–90. DOI:10.3367/UFNe.2023.05.039355
23. *Голицын Г.С.* Вероятностные структуры макромира: землетрясения, ураганы, наводнения. М.: Физматлит, 2022.  
*Golitsyn G.S.* Probabilistic structures of the macrocosm: earthquakes, hurricanes, floods. M.: Fizmatlit, 2022. (In Russ.)
24. *Ксанфомалити Л.В.* Планеты, открытые заново. Сер. “Планета Земля и Вселенная” / Отв. ред. Г.С. Голицын. М.: Наука. 1978.  
*Ksanfomaliti L.V.* Planets rediscovered. Ser. “Planet Earth and the Universe” / Rep. ed. G.S. Golitsyn. M.: Science, 1978. (In Russ.)
25. *Gamov G.* Expanding Universe and the origin of elements // *Phys. Rev.* 1946. V. 70, P. 572–573.
26. *Penzias A.* The origin of elements. Nobel lecture, December 1978 // *Rev. Mod. Phys.* 1979. V. 51. P. 430; *Пензиас А.* Происхождение элементов. Нобелевские лекции по физике 1978 г. // *УФН*. 1979. Т. 129. № 4. С. 581–593.
27. *Дорошкевич А.Г., Новиков И.Д.* Средняя плотность излучения в метagalактике и некоторые вопросы релятивистской космологии // *ДАН СССР*. 1964. Т. 154. С. 809.  
*Doroshkevich A.G., Novikov I.D.* Average radiation density in metagalaxy and some questions of relativistic cosmology // *DAN USSR*. 1964. V. 154. P. 809. (In Russ.)
28. *Penzias A.A., Wilson R.W.* A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s // *Astrophys. J.* 1965. V. 142. P. 419–421.
29. *Шмаонов Т.А.* Методика абсолютных измерений эффективной температуры радиоизлучения с низкой эквивалентной температурой // *Приборы и техника эксперимента*. 1957. Т. 1. № 1. С. 83–86.  
*Shmaonov T.A.* Methodology for absolute measurements of the effective temperature of radio emission with low equivalent temperature // *Instruments and experimental equipment*. 1957. V. 1. №. 1. P. 83–86. (In Russ.)
30. *Avakyan S.V.* New possible mechanism of sporadic ionospheric radioemissions // *Book of Abstracts of papers presented at the 25-th General assembly of URSI*. August–Sept. 1996. France. G1. Ionospheric models and indices, 1996.
31. *Haroche S., Raimond J.M.* Radiative properties of Rydberg states in resonant cavities // *Adv. Atom. Mol. Phys.* 1985. V. 20. P. 347–411.
32. *Haroche S., Raimond J.M.* Exploring the quantum. Atoms, cavities, and photons / N.-Y.: Oxford Un. Press, 2006.
33. *Кардашёв Н.С.* О возможности обнаружения линий атомарного водорода в радиодиапазоне // *Астрономический журнал*. 1959. Т. 36. № 5. С. 838–844.  
*Kardashev N.S.* On the possibility of detecting lines of atomic hydrogen in the radio range // *Astronomical Journal*. 1959. T. 36. №. 5. P. 838–844. (In Russ.)
34. *Авакян С.В., Баранова Л.А.* Влияние электромагнитного излучения окружающей среды на ассоциатообразование в водных растворах // *Биофизика*. 2019. Т. 64. № 1. С.12–20.  
*Avakian S.V., Baranova L.A.* Influence of electromagnetic radiation of the environment on association formation in aqueous solutions // *Biophysics*. 2019. V. 64. №. 1. P. 7–12.
35. *Emig K.L., Salas P.O., de Gasperin F. et al.* The first detection of radiorecombination lines at cosmological distances // *Astronomy and Astrophys.* 2019. V. 622. A7.
36. *Амбарцумян В.А.* “Ломоносовский доклад” (по случаю награждения Золотой медалью АН СССР) // Виктор Амбарцумян. Посвящается 100-летию со дня рождения Виктора Амбарцумяна. 1971 / Сост. член-корр. НАН РА Э.С. Парсамян. Ереван: Изд-во “Гитутюн” НАН Республики Армения, 2008. С. 486–487.  
*Ambartsumyan V.A.* “Lomonosov report” (on the occasion of being awarded the Gold Medal of the USSR Academy of Sciences) // Viktor Ambartsumyan. Dedicated to the 100th anniversary of the birth of Victor Ambartsumyan. 1971 / Comp. corresponding member NAS RA E.S. Parsamians. Yerevan: Publishing house

- “Gitutyun” NAS of the Republic of Armenia, 2008. P. 486–487. (In Russ.)
37. *Ambartsumian V.* The excitation of the metastable states in the gaseous nebulae // *Pulkovo Obs. Circ.* 1933. № 6. P. 10–17.
  38. *Амбарцумян В.А.* Значение эйнштейновских коэффициентов вероятностей переходов для астрофизики // *Проблемы физики: классика и современность* / Под ред. Г.Ю. Тредера. М.: Мир, 1982. С.164–167.  
*Ambartsumyan V.A.* The significance of Einstein transition probability coefficients for astrophysics // *Problems of physics: classics and modernity* / Ed. G.Yu. Trader. M.: Mir, 1982. P.164–167. (In Russ); *V.A. Ambartsumian.* Einstein-Centenary 1979. Für das Einstein-Komitee der DDR, herausgegeben von Hans Jurgen Treder. 1979. Akademie-Verlag Berlin.
  39. Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1984. Soviet encyclopedic dictionary. M.: Soviet Encyclopedia, 1984 (In Russ).
  40. Космонавтика. Энциклопедия / Гл. ред. В.П. Глушко. М.: Советская энциклопедия, 1985.  
*Astronautics. Encyclopedia* / Chief ed. V.P. Glushko. M. Soviet encyclopedia. 1985. (In Russ.)
  41. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред А.М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1983.  
*Physical Encyclopedic Dictionary* / Chief ed. A.M. Prohorov. M.: Soviet Encyclopedia, 1983. (In Russ).
  42. *Егикян А.Г.* Об облучении пыли в молекулярных облаках. 1. УФ дозы // *Астрофизика*. 2009. Т. 52. № 2. С. 311–324.  
*Yeghikyan A.G.* On dust irradiation in molecular clouds. 1. UV doses // *Astrophysics*. 2009. V. 52(2). P. 311–324. (in Russ.)
  43. *Мартirosyan P.M.* Новое поколение учёных должно быть достойно предшественников. К 70-летию Национальной Академии наук Армении // *Вестник РАН*. 2013. № 10. С. 915–917.  
*Martirosyan R.M.* The new generation of scientists should be worthy of their predecessors. To the 70th anniversary of the National Academy of Sciences of Armenia // *Herald of the RAS*. 2013. № 10. P. 915–917. (In Russ.)
  44. *Gatland K.* The illustrated Encyclopedia “Space Technology. A comprehensive history of space exploration”. Salamander Books LTD, 1982; *Гэтланд К.* Иллюстрированная энциклопедия “Космическая техника”. М.: Мир, 1986.
  45. *Rantanen R.O., Gordon T.D.* Contaminant buildup on ram facing spacecraft surfaces *Proc. // SPIE*. 1987. V. 777. P. 26–33.
  46. *Важенин Н.А., Обухов В.А., Плохих А.П., Попов Г.А.* Электрические ракетные двигатели космических аппаратов и их влияние на радиосистемы космической связи. М.: Физматлит, 2013.  
*Vazhenin N.A., Obukhov V.A., Plokhikh A.P., Popov G.A.* Electric rocket engines of space vehicles and their influence on the radio systems of space communications. M.: Fizmatlit. 2013. (In Russ.)
  47. *Авакян С.В., Девдариани А.З.* Роль ридберговских состояний и микроволнового излучения в тропосферной кластеризации паров воды // *Оптический журнал*. 2016. Т. 83. № 5. С. 76–78.  
*Avakyan S.V., Devdariani A.Z.* The role of the Rydberg states and microwave radiation in the tropospheric clusterization of a water vapor // *J. Opt. Technol.* 2016. V. 83. № 5. P. 327–328. <https://doi.org/10.1364/JOT.83.000327>
  48. *Schmidtke G., Avakyan S.V., Berdermann J. et al.* Where goes the Thermospheric Ionospheric GEospheric Research (TIGER) Program do? // *Adv. Space Res.* 2015. V. 56. P. 1547–1577.
  49. *Ельяшевич М.А.* Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматгиз, 1961.  
*Elyashevich M. A.* Atomic and Molecular Spectroscopy. M.: Physmatgiz. 1961. (In Russ.)



## MICROWAVE RADIATION OF SPACE AND PROSPECTS FOR ITS USE IN QUANTUM PROPULSORS

S.V. Avakyan<sup>a,\*</sup>, L.A. Baranova<sup>b,\*\*</sup>, V.V. Kovalenok<sup>c,\*\*\*</sup>, V.P. Savinykh<sup>d,\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>*All-Russian Scientific Center "S.I. Vavilov State Optical Institute", St. Petersburg, Russia*

<sup>b</sup>*Ioffe Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia,*

<sup>c</sup>*Federation of Cosmonautics of Russia, Moscow, Russia*

<sup>d</sup>*Moscow State University of Geodesy and Cartography and RAS, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: SVANANRA@yandex.ru*

<sup>\*\*</sup>*E-mail: l.baranova@mail.ioffe.ru*

<sup>\*\*\*</sup>*E-mail: fkr1978@yandex.ru*

<sup>\*\*\*\*</sup>*E-mail: vp@miigaik.ru*

Using the original approach developed in recent years – supramolecular physics of the environment, the results of considering the contribution of physical optics processes to the formation of induced microwave radiation are presented. The two most powerful cosmic thermal sources: the background (relict) flux in the absolute millimeter maximum of the spectrum, and the mm-wave radio flux from Sun are considered. The postulate of A. Einstein about the emergence of an induced emission quantum in a medium with established thermal equilibrium is taken into account. This made it possible to quantitatively substantiate, based on the principles of the similarity theory of G.S. Golitsyn, a scheme for the use of microwave energy of the interstellar/interplanetary medium during space flights. Based on the physics of collisions, in the proton transfer reaction of the main simple hydrides in interstellar/interplanetary molecular clouds, it is proposed to take into account the possibility of the manifestation of an additional channel for the maser effect in such a medium (first considered by V.A. Ambartsumian in 1979) due to the close location of electronically excited Rydberg levels for molecules in these clouds. The pioneering work of N.S. Kardashev on the study of Rydberg transitions during the emission of recombination radio lines was taken into account. Due to the efforts of astronomers from the Lebedev Physical Institute and the State Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences (at Pulkovo), this work led to the discovery of the microwave flux from deep space objects. Real energy and schemes for using a microwave quantum propulsor device with the ability to choose the direction of flights are discussed.

**Keywords:** background microwave relict radiation, radiation from interstellar molecular clouds, mm-radiation from the Sun; induced emission and “dark” energy; microwave radiation and long-distance space flights, quantum propulsor.

---

---

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

---

---

## СИНЕРГИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛИЗОЦИМА И КАРНОЗИНА С АНТИМИКРОБНЫМИ ПРЕПАРАТАМИ В ОТНОШЕНИИ *KLEBSIELLA PNEUMONIAE*

© 2024 г. О.В. Бухарин<sup>а,\*</sup>, Е.В. Иванова<sup>а,\*\*</sup>, И.А. Здвижкова<sup>а,\*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН,  
Оренбург, Россия

\*E-mail: ofrc@list.ru

\*\*E-mail: walerewna13@gmail.com

\*\*\*E-mail: zdvizhkova.irina@gmail.com

Поступила в редакцию 02.04.2024 г.

После доработки 11.04.2024 г.

Принята к публикации 15.04.2024 г.

Штаммы *Klebsiella pneumoniae* — условно-патогенные микроорганизмы, колонизирующие желудочно-кишечный тракт человека. Они способны распространяться в различные ткани и системы и вызывать широкий спектр тяжёлых заболеваний, в том числе пневмонию. В последнее время проблема клебсиеллёзных инфекций стала более актуальной в связи с распространением в популяции *K. pneumoniae* гипервирулентных и антибиотикорезистентных штаммов. Это обусловило необходимость разработки современных антимикробных средств. В качестве метода воздействия на возбудителей пневмонии рассматривается комбинирование лизоцима с антимикробными препаратами, что было успешно апробировано на базе детских стационаров Оренбурга. Новым кандидатом для борьбы с клебсиеллами может стать природный антиоксидант и антиокислитель карнозин. В условиях *in vitro* установлена синергидная комбинация карнозина с противомикробными препаратами против *Klebsiella pneumoniae*. Полученные результаты позволили расширить спектр эффективных и безопасных средств против возбудителей клебсиеллёзных инфекций.

**Ключевые слова:** *Klebsiella pneumoniae*, инфекция лёгких, лизоцим, карнозин, антимикробные препараты.

DOI: 10.31857/S0869587324040057, EDN: GEPSFE

В последнее время в России и мире заметно возрастает количество случаев бактериальных пневмоний [1, 2], которые на протяжении уже более 100 лет ассоциируются с культурами *Klebsiella pneumoniae*. Клебсиеллы — широко распространённые в природе условно-патогенные микроорганизмы, колонизиру-

ющие желудочно-кишечный тракт человека [3]. Со слизистой оболочки ослабленного организма бактерии могут распространяться в различные ткани и системы, становясь причиной развития серьёзных инфекций, прежде всего пневмоний [1, 4]. По данным Всемирной организации здравоохранения,



---

БУХАРИН Олег Валерьевич — академик РАН, научный руководитель ИКВС УрО РАН. ИВАНОВА Елена Валерьевна — доктор медицинских наук, заведующая лабораторией инфекционной симбиологии ИКВС УрО РАН. ЗДВИЖКОВА Ирина Александровна — научный сотрудник лаборатории биомониторинга и молекулярно-генетических исследований ИКВС УрО РАН.

клебсиеллы представляют угрозу для жизни и здоровья населения, что стало актуальной проблемой современной медицины [4].

Появляется всё больше работ, где обсуждается распространение в популяции *K. pneumoniae* гипервирулентных и антибиотикорезистентных штаммов, поэтому возникают определённые сложности при подборе эффективных методов борьбы с данным возбудителем [3–5]. Учёные активно занимаются поиском новых средств на основе бактериофагов, ферментобактериоцидов и антител против поверхностных структур клебсиелл, но пока соединения-кандидаты с выраженной эффективностью не выявлены [4].

Результатом совместных исследований оренбургских микробиологов и педиатров стало получение в конце XX в. синергидной комбинации лизоцима с антимикробными препаратами для лечения бактериальной пневмонии у детей [6]. Это был принципиально новый подход в борьбе с возбудителями острых поражений лёгких у детей, который успешно прошёл клинические испытания.

Как известно, “новое — это хорошо забытое старое”. Эта цитата не случайна, поскольку переосмысление принципов, которые использовались прежде в терапии бактериальных инфекций, позволило нам рассмотреть новую синергидную комбинацию с противомикробными препаратами. Благодаря этому подходу можно расширить спектр эффективных средств борьбы с клебсиеллёзными инфекциями.

**Штаммы *Klebsiella pneumoniae* — условно-патогенные микроорганизмы и опасные возбудители инфекций человека.** Штаммы *K. pneumoniae* относятся к семейству *Enterobacteriaceae* и являются условно-патогенными микроорганизмами, которые колонизируют поверхность слизистых желудочно-кишечного тракта человека и встречаются повсеместно в природе, включая воду, почву и животных [3]. Вместе с тем некоторые виды *Klebsiella* spp. могут контаминировать медицинское оборудование и объекты в учреждениях здравоохранения, вызывая внутригоспитальные инфекции [7]. Впервые культура *K. pneumoniae* была описана К. Фридлендером в 1882 г. как бактерия (палочка Фридлендера), выделенная из лёгких умерших от пневмонии. В настоящее время клебсиеллы по-прежнему считаются наиболее частой причиной тяжёлых пневмоний, особенно среди детского контингента [1, 8].

У людей с иммунокомпроментированным статусом (грипп и COVID-19, приём антибактериальных препаратов, соматическая патология, врождённая патология иммунной системы, детский или пожилой возраст) клебсиеллы способны преодолевать кишечный барьер и, проникая в кровь, распространяться в различные ткани и системы организма. Они вызывают широкий спектр тяжёлых заболеваний (острое поражение лёгких, инфекции мочевыводящих путей и кровотока, сепсис) и часто служат причиной летального исхода [4, 9]. По дан-

ным масштабного исследования “Глобальное бремя болезней” (Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study, GBD), треть летальных исходов в мире ассоциирована с инфекцией лёгких, желудочно-кишечного тракта и сепсисом. В 2019 г. было зафиксировано почти 2.5 млн летальных исходов, связанных с пневмонией. Более того, пневмония по-прежнему остаётся основной причиной смерти детей младшего возраста в странах с низким уровнем дохода и пожилых людей в развитых странах [10]. В половине случаев возбудителями являются условно-патогенные микроорганизмы, к которым относятся штаммы *K. pneumoniae*.

Клебсиеллы привлекают всё больше внимания исследователей в связи с их способностью быстро приобретать устойчивость к антимикробным препаратам. Более трети штаммов возбудителей клебсиеллёзной инфекции демонстрируют резистентность по крайней мере к одной группе антибиотиков, при этом наиболее распространённый фенотип характеризуется комбинированной устойчивостью к фторхинолонам, цефалоспорином третьего поколения и аминогликозидам [10]. Известно, что среди грамотрицательных бактерий клебсиеллы выступают основным продуцентом и резервуаром карбапенемаз — бактериальных ферментов, способных расщеплять все типы бета-лактамов антибиотиков, в том числе карбапенемы (антибиотики из группы резерва<sup>1</sup>) [4].

Молекулярно-генетическому анализу полирезистентных изолятов *K. pneumoniae*, выявленных при мониторинге резистентных грамотрицательных бактерий в НИИЦ здоровья детей в 2014–2021 гг., была посвящена одна из последних работ коллектива Национального исследовательского центра эпидемиологии и микробиологии имени почётного академика Н.Ф. Гамалеи (НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи) [11]. Выявлено большое разнообразие генотипов штаммов *K. pneumoniae* с множественной резистентностью, выделенных из ликвора (спинномозговая жидкость) и крови детей. Авторы приводят данные за 2020 г. о циркуляции на территории России полирезистентных штаммов *K. pneumoniae* клональных групп CG395, CG11, CG147 и CG307, относящихся к международным клоном особого риска [11, 12].

Актуальность проблемы клебсиеллёзных инфекций возрастает и в связи с распространением в популяции *K. pneumoniae* гипервирулентных штаммов, представляющих собой более вирулентный патотип, чем классический штамм клебсиелл [4, 13]. Д. Джус с соавторами описали явление конвергенции признаков двух генетических линий *K. pneumoniae*: с множественной резистентностью к антимикроб-

<sup>1</sup> Группа резерва — антибиотики и их классы, которые применяются исключительно для лечения подтверждённых или подозреваемых инфекций, вызванных бактериальными возбудителями с множественной лекарственной резистентностью. Антибиотики данной группы применяются в качестве крайней меры.



ным препаратам и гипервирулентностью [14]. К генетическим факторам, которые придают штаммам гипервирулентный фенотип, относят присутствующие в мобильных элементах их генома (плазмидах и хромосомных мобильных генетических элементах) детерминанты сидерофорных систем, продукцию капсул (типы капсул K1 и K2) и токсина колибактина. Эти элементы обуславливают генерализацию инфекции и развитие сепсиса [15] и считаются незаменимыми факторами вирулентности бактерий.

В лаборатории инфекционной симбиологии Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (ИКВС УрО РАН) разработаны оригинальные праймеры для детекции аэробактина (*iucBC*) и колибактина (*clbBN*), использование которых, наряду с детерминантами специфических ингибиторов лизоцима (белки семейства *Iyu* и *Pli/Mli*), позволяют с помощью тест-системы ПЦР одновременно выявлять штаммы с вирулентным и персистентным потенциалом. Как и многие другие бактериальные патогены, штаммы *K. pneumoniae* в процессе эволюции выработали различные стратегии резистентности к защитным антимикробным пептидам, определяющие их персистенцию и выживание в организме хозяина [16]. Благодаря многочисленным экспериментальным и клиническим наблюдениям в ИКВС УрО РАН были получены данные об адаптивных возможностях патогена во внутренней среде хозяина, реализуемых через персистентный потенциал, что способствовало отнесению факторов персистенции к малым факторам патогенности и нашло воплощение в разработке и создании диагностических, прогностических и терапевтических технологий в инфекционной клинической практике [17].

Учитывая, что основным резервуаром штаммов *K. pneumoniae* служит кишечная микробиота, в изучении клебсиеллёзных инфекций, с одной стороны, важно исследовать защитную роль индигенной микробиоты — бифидобактерий. Существует множество доказательств роли кишечной микробиоты в предотвращении заражения патогенными бактериями и экспансии условно-патогенных микроорганизмов, что реализуется через симбиотические взаимодействия как внутри микросимбиоза, так и с иммунными факторами хозяина. С другой стороны, индигенная микробиота, принимая участие в метаболических превращениях лекарственных препаратов, существенно влияет на их эффективность.

В целом рост в популяции клебсиелл штаммов, устойчивых к противомикробным препаратам (в том числе из группы резерва), значительно сузил, а в некоторых случаях и вовсе ликвидировал возможности для лечения клебсиеллёзных инфекций. Кроме того, появление гипервирулентных вариантов в популяции антибиотикорезистентных штаммов *K. pneumoniae* обуславливает генерализованные

формы заболеваний и высокую смертность от пневмонии, инфекции кровотока и сепсиса. Всемирная организация здравоохранения включила клебсиеллу в критический список микроорганизмов, для противодействия которым необходимы современные терапевтические подходы. Одним из них служит комбинация лизоцима с антимикробными препаратами, которая была успешно апробирована на базе детских стационаров Оренбурга.

**Синергидная комбинация лизоцима и противомикробных препаратов в отношении возбудителей пневмонии у детей.** Рост резистентности микроорганизмов к антибактериальным препаратам в своё время повлёк за собой использование больших доз антибиотиков и способствовал увеличению длительности курсов лечения, что в свою очередь привело к выраженным негативным последствиям и снижению эффективности терапии [5]. Кроме того, использование антимикробных средств уменьшает естественную резистентность организма человека, что во многом определяет тяжесть протекания и исход инфекций у детей [6].

В начале 1980-х годов на кафедре микробиологии и педиатрии Оренбургского государственного медицинского института (ныне ОрГМУ) под руководством О.В. Бухарина и Г.П. Бондаренко была выполнена диссертационная работа Н.Ф. Тарасевич, которая позволила разработать принципиально новый подход в борьбе с возбудителями инфекций. В условиях *in vitro* установлена синергидная комбинация лизоцима и антибиотиков против возбудителей острых пневмоний у детей (табл. 1) [6]. Использование лизоцима при лечении пневмонии привлекло внимание клиницистов, поскольку данный природный антисептик является важным компонентом врождённой иммунной системы слизистой оболочки хозяина и обладает литическими эффектами в отношении широкого спектра микроорганизмов.

Известно, что лизоцим в высоких концентрациях содержится в секрете дыхательных путей млекопитающих (>500 мкг/мл), а также в грудном молоке, вакуолях фагоцитарных клеток, интерстициальной жидкости и слюне. Данный белок воздействует на клеточную стенку как мурамидаза (гликозидгидролаза), которая катализирует гидролиз 1,4-β-гликозидной связи между N-ацетилмурамовой кислотой и N-ацетил-D-глюкозамином в пептидогликане — основном компоненте клеточной стенки грамположительных бактерий. Установлена и немуримидазная функция лизоцима как катионного антимикробного пептида, приводящего к изменению проницаемости микробной мембраны [18]. Лизоцим вездесущ в качестве первой линии иммунной защиты млекопитающих от патогенных и условно-патогенных микроорганизмов [19].

В работе Н.Ф. Тарасевич была установлена способность лизоцима усиливать антимикробное дей-

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика синергидного эффекта лизоцима в комбинации с антибиотиками против возбудителей пневмонии (метод двойных градиентных пластинок)

| Лизоцим<br>с антибиотиком | Возбудитель | Стафило-<br>кокки | Пневмо-<br>кокки | Стрепто-<br>кокки<br>гемолитические | Стрепто-<br>кокки<br>зеленящие | Клебсиеллы |
|---------------------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------|
| Бензилпенициллин          |             | ++                | +++              | ++++                                | ++++                           | +          |
| Ампициллин                |             | —                 | +                | +                                   | +                              | +          |
| Ампиокс                   |             | ++++              | +++              | ++++                                | +++                            | +          |
| Оксациллин                |             | ++                | +                | +                                   | +                              | —          |
| Диклоксациллин            |             | +++               | +                | ++                                  | ++                             | —          |
| Метициллин                |             | +++               | ++               | +++                                 | ++                             | —          |
| Линкомицин                |             | ++                | +                | +                                   | +                              | —          |
| Карбенициллин             |             | ++                | +                | +                                   | ++                             | +          |
| Фузидин                   |             | +++               | —                | —                                   | —                              | —          |
| Цепорин                   |             | ++++              | ++               | ++                                  | +                              | —          |
| Кефзол                    |             | +++               | ++               | +                                   | +                              | +          |
| Морфоциклин               |             | ++                | ++++             | ++++                                | +++                            | —          |
| Тетраолеан                |             | +++               | +                | +                                   | +                              | —          |
| Олеандомицин              |             | ++                | +                | +                                   | +                              | +          |
| Эритромицин               |             | +++               | +++              | +++                                 | +++                            | —          |
| Левомецетин               |             | +                 | +                | +                                   | +                              | ++         |
| Стрептомицин              |             | ++                | —                | —                                   | —                              | —          |
| Ристомидин                |             | +++               | ++               | +                                   | +                              | —          |
| Гентамицин                |             | +                 | +                | +                                   | +                              | ++         |
| Мономицин                 |             | +++               | —                | +                                   | +                              | ++         |
| Канамицин                 |             | ++++              | —                | —                                   | —                              | ++         |
| Неомицин                  |             | ++                | —                | —                                   | —                              | ++         |
| Экмолин                   |             | ++                | +                | +                                   | +                              | —          |
| Полимиксин                |             | +++               | —                | —                                   | —                              | —          |

*Примечание:* (+) — кратность усиления антимикробного действия антибактериальных препаратов под влиянием лизоцима до 4; (++) — 4–8; (+++) — 8–16; (++++) — 16 и более; (—) — отсутствие синергидного эффекта.

ствие антибиотиков в отношении бактериальных возбудителей пневмонии, а его выявленный дефицит в сыворотке крови и лейкоцитов обусловил целесообразность применения этой комбинации при комплексной терапии пневмонии у детей. Лечение больных острой пневмонией экспериментально подобранными комбинациями лизоцима с антибактериальными препаратами оказалось эффективнее обычной антибактериальной терапии, что проявлялось в более быстрой ликвидации (на 5–8 день) клинико-лабораторных признаков пневмонии и нормализации уровня показателей естественной резистентности (лизоцим сыворотки крови и лейкоцитов, фагоцитарная активность нейтрофилов), более редком развитии затяжных пневмоний. Вклю-

чение лизоцима в комплексную терапию позволило вдвое уменьшить дозы вводимых антибиотиков, что значительно снижало побочные эффекты у детей. Эта комбинированная схема была успешно апробирована при острой пневмонии на базе детских стационаров Оренбурга, а результаты диссертационной работы Н.Ф. Тарасевич высоко оценили в НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи.

Разработка эффективных средств борьбы с возбудителями клебсиеллёзных инфекций очень важна по причине усугубления этой проблемы и появления её новых аспектов, связанных, в частности, с распространением в популяции клебсиелл гипервирулентных вариантов. Благодаря многолетней работе мы актуализировали использование лизоцима с анти-

микробными препаратами в отношении штаммов *K. pneumoniae*, сравнив эту комбинацию с природным антиоксидантом карнозином в условиях *in vitro*.

**Карнозин – природный антиоксидант в борьбе с клебсиеллёзной инфекцией.** Карнозин был открыт в 1900 г. русским биохимиком В.С. Гулевиным в составе безбелкового мышечного экстракта и стал первым известным биогенным пептидом. Это природное соединение в больших количествах содержится в мышечной и нервной ткани млекопитающих. Карнозин (β-аланил-L-гистидин) – дипептид с выраженными антиоксидантными и антиокислительными свойствами, который может быть перспективен при инфекции лёгких на этапе борьбы с процессами окислительного стресса, индуцируемого гидроксильными и свободными радикалами. Антиоксидантная активность карнозина подобна эффекту антиоксидантного фермента супероксиддисмутазы и включает способность улавливать свободные радикалы, что позволяет бороться с окислительным стрессом и уменьшает воспалительные процессы в организме человека [20].

Роль про- и антиоксидантов в обеспечении стабильного существования и функционирования симбиотических систем человека установлена на примере формирования механизмов защиты вагинального биотопа, благодаря этому возникают новые перспективы в регуляции инфекционного процесса [21, 22]. Биологическая активность карнозина продемонстрирована для самых разных систем организма [20]. Выявлена его эффективность на моделях острых поражений лёгких (вирусных и вызванных липополисахаридами), а также лёгочного фиброза [23, 24]. Известно, что окислительный стресс – важный механизм патогенеза поражений

лёгких у пациентов, поэтому противовоспалительная терапия в данном случае не всегда эффективна. Лёгкие относятся к органам с низким содержанием карнозина, в то же время в условиях *in vitro* установлен его защитный и регенерирующий эффект на модели культивированных фибробластов лёгких человека [25]. Всё это определяет актуальность и привлекает внимание исследователей к потенциальному использованию карнозина с антиоксидантным эффектом при лечении заболеваний лёгких.

Терапевтическое применение карнозина в эксперименте и при клинических испытаниях позволило охарактеризовать его как эффективный иммуномодулятор и противовоспалительный агент. Наблюдавшиеся эффекты могли быть объяснены на основании присущих карнозину антиоксидантных, мембраностабилизирующих и рН-буферных свойств. Карнозин нетоксичен и удобен для клинической практики [20].

Мы повторили опыты с использованием лизоцима с современными антимикробными препаратами в отношении штаммов *K. pneumoniae*, сравнив эту комбинацию с карнозином в условиях *in vitro* (табл. 2). Полученные результаты позволили установить стабильность синергидного влияния лизоцима и гентамицина, канамицина, а также определить новые комбинации с цефуроксимом. Достоверного увеличения чувствительности штаммов не отмечалось в комбинации с β-лактамами (ампициллин, цефтриаксон) и фторхинолонами.

Сравнительный анализ комбинаций с карнозином показал его способность усиливать действие антибиотиков в отношении штаммов *K. pneumoniae*. Оптимальные комбинации установлены для гентамицина, канамицина, цефуроксима, офлоксацина

**Таблица 2.** Сравнительная характеристика синергидного эффекта лизоцима и карнозина в комбинации с антибиотиками против штаммов *K. pneumoniae* (диско-диффузионный метод)

| Диски с препаратами | Содержание препарата в диске, мкг | Диаметры зон подавления роста культур <i>K. pneumoniae</i> (n=33), мм и интерпретация результатов (S/I/R) |       |                  |       |                   |       |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|
|                     |                                   | Контроль чистой культуры                                                                                  | S/I/R | Опыт с лизоцимом | S/I/R | Опыт с карнозином | S/I/R |
| Гентамицин          | 10                                | 20–21                                                                                                     | S     | 29–32*           | S     | 30–32*            | S     |
| Ампициллин          | 10                                | 7–7.5                                                                                                     | R     | 10–12            | R     | 14–16*            | I/S   |
| Цефуроксим          | 30                                | 16–18                                                                                                     | S     | 21–22*           | S     | 22–24*            | S     |
| Цефтриаксон         | 30                                | 30–32                                                                                                     | S     | 31–32            | S     | 30–32             | S     |
| Ципрофлоксацин      | 5                                 | 24–25                                                                                                     | S     | 28–29            | S     | 30–33             | S     |
| Офлоксацин          | 5                                 | 20–21                                                                                                     | S     | 25–27            | S     | 32–34*            | S     |
| Норфлоксацин        | 10                                | 22–23                                                                                                     | S     | 27–28            | S     | 30–33*            | S     |
| Канамицин           | 5                                 | 20–21                                                                                                     | S     | 25–28            | S     | 31–32*            | S     |

Примечание: S – чувствительность; I – промежуточная чувствительность; R – устойчивость к действию препарата; \* –  $p \leq 0.05$  в сравнении с контролем.



и норфлоксацина. В комбинации с ампициллином отмечалось изменение резистентности культур к антибиотикам на чувствительный и промежуточный варианты. Таким образом, сочетание карнозина с антимикробными препаратами может оказывать значительное ингибирующее действие на патогенные микроорганизмы, что подтверждает его потенциал в борьбе против возбудителей заболеваний человека.

\* \* \*

Проблема клебсиеллёзных инфекций актуальна и активно обсуждается в научном сообществе, появляются всё больше работ по данной теме, ведётся поиск современных терапевтических подходов. На примере данных инфекций ярко прослеживается несоответствие между потребностями здравоохранения и текущими разработками в области противомикробных препаратов, что в свою очередь ставит на передний план в современном здравоохранении разработку профилактических и терапевтических мер борьбы с этими инфекциями.

Оптимальная схема лечения больных острой пневмонией на основе установленной синергидной комбинации лизоцима с антибиотиками, разработанная в Оренбурге, продемонстрировала стабильность данного подхода. Кроме того, сочетанное применение карнозина (природный дипептид с антиоксидантными, антиокислительными и противовоспалительными свойствами) с противомикробными препаратами позволило получить эффективную комбинацию в отношении штаммов *K. pneumoniae*.

Анализируя полученные данные, нетрудно понять, что карнозин как природное средство может служить альтернативой при усилении антимикробного эффекта в борьбе с клебсиеллёзной инфекцией. Мы пришли к выводу, что это, вероятно, связано с реакцией Фентона<sup>2</sup>. Совершенно очевидно, что для протекания реакции сложились все подходящие условия — формирование окислительного стресса при воспалении лёгких и наличие собственных антиоксидантов (карнозин, супероксиддисмутаза и др.), усиливающих защитные силы организма человека. Дальнейшее продвижение исследований карнозина открывает перспективы разработки эффективных и безопасных антимикробных средств, но это требует экспериментальных доказательств, времени и смелости ума.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИКВС УрО РАН “Исследование симбиотических систем про- и эукариот в биологии и медицине” (№ FUUG-2022-0007).

<sup>2</sup> Реакция Фентона — реакция пероксида водорода с ионами железа, которая используется для разрушения органических веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко О.В., Швайко С.Н. (2019) Пневмонии, вызванные *Klebsiella pneumoniae* (фридлендеровские пневмонии) // Практическая пульмонология. № 1. С. 22–31.  
*Fesenko O.V., Shvayko S.N. (2019) Pneumonia caused by Klebsiella pneumoniae (Friedlander's pneumonia). Practical pulmonology, no. 1, pp. 22–31. (In Russ.)*
2. Eshwara V.K., Mukhopadhyay C., Rello J. (2020) Community-acquired bacterial pneumonia in adults: An update. Indian J. Med. Res., vol. 151 (4), pp. 287–302. DOI: 10.4103/ijmr.IJMR\_1678\_19.
3. Gonzalez-Ferrer S., Peñaloza H.F., Budnick J.A. et al. (2021) Finding Order in the Chaos: Outstanding Questions in *Klebsiella pneumoniae* Pathogenesis. Infect. Immun., vol. 89 (4), e00693-20.
4. Bengoechea J.A., Pessoa J.S. (2019) *Klebsiella pneumoniae* infection biology: living to counteract host defences. FEMS Microbiology Reviews, vol. 43, iss. 2, pp. 123–144.
5. Prestinaci F., Pezzotti P., Pantosti A. (2015) Antimicrobial resistance: a global multifaceted phenomenon. Pathogens and Global Health, vol. 109 (7), pp. 309–318.
6. Тарасенко Н.Ф. (1983) Применение лизоцима в комплексной антибактериальной терапии острых пневмоний у детей // Автореф. ... канд. мед. наук. 18 с.  
*Tarasenko N.F. (1983) The use of lysozyme in the complex antibacterial therapy of acute pneumonia in children // Abstract for the degree of Candidate of medical Sciences. 18 p. (In Russ.)*
7. Li B., Zhao Y., Liu C. et al. (2014) Molecular pathogenesis of *Klebsiella pneumoniae*. Future Microbiol., no. 9, pp. 1071–1081.
8. Lokida D., Farida H., Triasih R. et al. (2022) Epidemiology of community-acquired pneumonia among hospitalised children in Indonesia: a multicentre, prospective study. BMJ Open, vol. 12 (6), e057957.
9. Ko W.C., Paterson D.L., Sagnimeni A.J. et al. (2002) Community-acquired *Klebsiella pneumoniae* bacteremia: global differences in clinical patterns. Emerg. Infect. Dis., no. 8, pp. 160–166.
10. European Centre for Disease Prevention and Control. Antimicrobial resistance (EARS-Net). ECDC. Annual Epidemiological Report for 2014. Stockholm: ECDC, 2018.
11. Воронина О.Л., Кунда М.С., Рыжова Н.Н. и др. (2023) Геномные особенности резистентных изолятов *Klebsiella pneumoniae*, выделенных из кровяного русла и ликвора пациентов детского стационара // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. Т. 100 (6). С. 399–409.  
*Voronina O.L., Kunda M.S., Ryzhova N.N. et al. (2023) Genomic features of resistant Klebsiella pneumoniae*

- isolates isolated from the bloodstream and cerebrospinal fluid of children's hospital patients. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, vol. 100 (6), pp. 399–409. (In Russ.)
12. Белобородов В.Б., Голощанов О.В., Гусаров В.Г. и др. (2022) Методические рекомендации Российской некоммерческой общественной организации “Диагностика и антимикробная терапия инфекций, вызванных полирезистентными штаммами микроорганизмов” (обновление 2022 г.) // Вестник анестезиологии и реаниматологии. Т. 19 (2). С. 84–114.  
*Beloborodov V.B., Goloshchapov O.V., Gusarov V.G. et al. (2022) Methodological recommendations of the Russian non-profit public organization “Diagnostics and antimicrobial therapy of infections caused by polyresistant strains of microorganisms” (update 2022). Bulletin of Anesthesiology and Intensive Care, vol. 19 (2), pp. 84–114. (In Russ.)*
  13. Yao H., Qin S., Chen S. et al. (2018) Emergence of carbapenem-resistant hypervirulent *Klebsiella pneumoniae*. *Lancet Infect. Dis.*, vol. 18 (1), 25.
  14. Gu D., Dong N., Zheng Z. et al. (2018) A fatal outbreak of ST11 car-bapenem-resistant hypervirulent *Klebsiella pneumoniae* in a Chinese hospital: a molecular epidemiological study. *Lancet Infect. Dis.*, vol. 18 (1), pp. 37–46.
  15. Lam M.M.C., Wick R.R., Watts S.C. et al. (2021) A genomic surveillance framework and genotyping tool for *Klebsiella pneumoniae* and its related species complex. *Nat. Commun.*, vol. 12, 4188.
  16. Бухарин О.В., Валышев А.В., Гильмутдинова Ф.Г. и др. (2006) Экология микроорганизмов человека / Отв. ред. О.В. Бухарин. Екатеринбург: УрО РАН.  
*Bukharin O.V., Valyshev A.V., Gilmudinova F.G. et al. (2006) Ecology of human microorganisms. Res. ed. O.V. Bukharin. Yekaterinburg: Ural Branch of the RAS. (In Russ.)*
  17. Бухарин О.В. (1999) Персистенция патогенных бактерий. М.: Медицина.  
*Bukharin O.V. (1999) Persistence of pathogenic bacteria. Moscow: Medicine. (In Russ.)*
  18. Ragland S.A., Criss A.K. (2017) From bacterial killing to immune modulation: Recent insights into the functions of lysozyme. *PLoS Pathog.*, vol. 13 (9), e1006512.
  19. Бухарин О.В., Иванова Е.В. (2023) Особенности персистенции индигенных штаммов бифидобактерий кишечника человека // Вестник РАН. № 6. С. 549–556.  
*Bukharin O.V., Ivanova E.V. (2023) Persistence Features of Indigenous Strains of the Human Intestine Bifidobacteria. Herald of the Russian Academy of Sciences, no. 4, pp. 231–238. (In Russ.)*
  20. Quinn P.J., Boldyrev A.A., Formazuik V.E. (1992) Carnosine: its properties, functions and potential therapeutic applications. *Mol. Aspects Med.*, vol. 13 (5), pp. 379–444.
  21. Сгибнев А.В. (2013) Про- и антиоксиданты как факторы формирования и регуляции симбиотических систем с участием прокариот // Автореф. ... доктора биол. наук. 42 с.  
*Sgibnev A.V. (2013) Pro- and antioxidants as factors of formation and regulation of symbiotic systems involving prokaryotes. Abstract for the degree of Doctor of Biological Sciences. 42 p. (In Russ.)*
  22. Бухарин О.В., Сгибнев А.В., Черкасов С.В. (2014) Роль про- и антиоксидантов микроорганизмов в регуляции механизмов гомеостаза симбиоза (на модели вагинального биотопа) // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. № 3. С. 9–15.  
*Bukharin O.V., Shibnev A.V., Cherkasov S.V. (2014) The role of pro- and antioxidants of microorganisms in the regulation of mechanisms of symbiosis homeostasis (on the model of a vaginal biotope). Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology, no. 3, pp. 9–15. (In Russ.)*
  23. Xu T., Wang C., Zhang R. et al. (2015) Carnosine markedly ameliorates H9N2 swine influenza virus-induced acute lung injury. *J. Gen. Virol.*, vol. 96 (10), pp. 2939–2950.
  24. Hipkiss A.R. (2020) COVID-19 and Senotherapeutics: Any Role for the Naturally-occurring Dipeptide Carnosine? *Aging and disease*, vol. 11 (4), pp. 737–741.
  25. Тихомирова Е.В., Корнилова З.Х., Оглоблина Т.А., Перельман М.И. (1993) Влияние карнозина на состояние внутриклеточного pH в культивируемых лёгочных эмбриональных фибробластах человека // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. Т. 116. С. 218–220.  
*Tikhomirova E.V., Kornilova Z.Kh., Ogloblina T.A., Perel'man M.I. (1993) The effect of carnosine on the intracellular pH in cultured human embryonic lung fibroblasts. Biull. Eksp. Biol. Med.*, vol. 116 (8), pp. 218–220. (In Russ.)

# SYNERGID ACTIVITY OF LYSOZYME AND CARNOSINE WITH ANTIMICROBIAL DRUGS IN RELATION TO *KLEBSIELLA PNEUMONIAE*

O.V. Bukharin<sup>a,\*</sup>, E.V. Ivanova<sup>a,\*\*</sup>, I.A. Zdvizhkova<sup>a,\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: ofrc@list.ru*

<sup>\*\*</sup>*E-mail: walerewna13@gmail.com*

<sup>\*\*\*</sup>*E-mail: zdvizhkova.irina@gmail.com*

*Klebsiella pneumoniae* strains are opportunistic microorganisms that colonize the human gastrointestinal tract and can spread to various tissues and systems of the body, causing a wide range of severe diseases, including pneumonia. The problem of *Klebsiella* infections has become topical recently due to the spread of hypervirulent and antibiotic-resistant strains in the *K. pneumoniae* population, which indicated the need to develop modern antimicrobial agents. One of the approaches to combating pathogens of pneumonia is a combination of lysozyme with antimicrobial drugs, which was successfully tested in children's hospitals in Orenburg. A natural antioxidant and antioxidant, carnosine, is considered as a new candidate in the fight against *Klebsiella*. A synergistic combination of carnosine with antimicrobial agents against *Klebsiella pneumoniae* was established *in vitro*. The results obtained allowed us to expand the range of effective and safe means of combating pathogens of *Klebsiella* infections.

**Keywords:** *Klebsiella pneumoniae*, lung infection, lysozyme, carnosine, antimicrobial drugs.



---

---

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

---

---

## ОТ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ К КВАНТОВОМУ МЕТОДУ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Л.Д. ФАДДЕЕВА

© 2024 г. М.А. Семёнов-Тян-Шанский<sup>a,b,\*</sup>

<sup>a</sup>Санкт-Петербургское отделение Математического института  
имени В.А. Стеклова РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>b</sup>Бургундский университет, Дижон, Франция

\*E-mail: semenov@pdmi.ras.ru

Поступила в редакцию 04.03.2024 г.

После доработки 06.03.2024 г.

Принята к публикации 13.04.2024 г.

В статье рассказывается о жизни и творчестве физика-теоретика и математика, действительного члена АН СССР и РАН Л.Д. Фаддеева (1934–2017), становлении его научной школы. Работы Фаддеева по теории рассеяния, квантовой теории поля, классической и квантовой теории интегрируемых систем вошли в золотой фонд мировой науки и во многом определили лицо современной математической физики. Автор статьи — сотрудник созданной Л.Д. Фаддеевым лаборатории математических проблем физики Санкт-Петербургского отделения Математического института им. В.А. Стеклова РАН с момента её основания.

**Ключевые слова:** Л.Д. Фаддеев, теория рассеяния, квантовая проблема трёх тел, калибровочные поля, теория Янга–Миллса, теория интегрируемых систем, квантовые солитоны, классический и квантовый метод обратной задачи.

**DOI:** 10.31857/S0869587324040066, **EDN:** GENQBY

23 марта 2024 г. академику Людвигу Дмитриевичу Фаддееву исполнилось бы 90 лет. Время стремительно отодвигает от нас прошедшую эпоху, отмеченную блистательным расцветом в нашей стране математики и математической физики. За последние годы кроме Фаддеева ушли из жизни В.И. Арнольд, Ю.И. Манин, А.Б. Шабат, В.П. Маслов, В.Е. Захаров. Круг учеников и сотрудников Л.Д.<sup>1</sup> тоже поредел ещё с середины 1990-х годов.

Людвиг Дмитриевич был не только учёным первого ряда, он был замечательным учителем, воспитавшим несколько поколений учеников — старшие

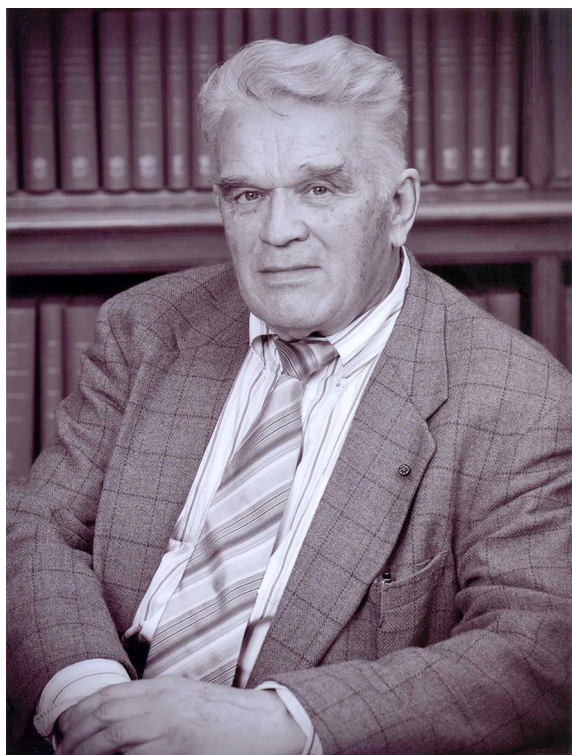
из них были почти его ровесниками, а последние, которым пришлось защищать диссертации уже после его смерти, были моложе его на 60 лет. А ещё он выдающийся организатор науки, на протяжении четверти века был директором Ленинградского (затем Петербургского) отделения Математического института имени В.А. Стеклова АН СССР/РАН, организовал и долгие годы возглавлял Международный математический институт имени Леонарда Эйлера, многие годы возглавлял Отделение математических наук РАН. В советское время был одним из очень редких академиков и директоров институтов, никогда не вступавших в партию. В 1983–1990 годах он был вице-президентом, затем президентом Международного математического союза. История его многолетней борьбы за сохранение фундаменталь-

---

<sup>1</sup> Акроним “Л.Д.” постоянно использовался в разговорах сотрудников Фаддеева. В статье я называю его так же. Редкое имя Людвиг (в честь Бетховена) было дано ему отцом — Дмитрием Константиновичем — не только замечательным математиком, но и почти профессиональным пианистом. Родители хотели видеть сына музыкантом, но из-за войны эта мечта не реализовалась. Тем не менее музыка всегда играла в жизни Людвигу Дмитриевичу огромную роль; к своим любимым композиторам он относил Берлиоза и Рихарда Штрауса.

---

СЕМЁНОВ-ТЯН-ШАНСКИЙ Михаил Арсеньевич — доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией математических проблем физики ПОМИ РАН, почётный профессор Бургундского университета (Франция).



Людвиг Дмитриевич Фаддеев.  
Фото с личного сайта Л.Д. Фаддеева

ной науки в России, его противостояния советской и российской бюрократии заслуживает отдельного рассказа, но здесь я не стану об этом писать — прежде всего потому, что эта борьба фактически окончилась поражением, и это уже совсем другая история. По случаю юбилея правильнее говорить о том, что, собственно, и составляло главное дело жизни Людвиг Дмитриевича — о его вкладе в развитие науки.

В 1993 г. старый друг Фаддеева и один из крупнейших физиков-теоретиков лауреат Нобелевской премии профессор Ч. Янг пригласил его прочесть именную лекцию в американском Университете Стони-Брук, учреждённую международным фондом Шао (спустя ещё 15 лет Л.Д. вместе с В.И. Арнольдом был удостоен премии Шао за “всеобъемлющие и важнейшие достижения в математической физике”). Каждый выступающий с такой лекцией получает специальный сувенир — маленькую кофейную чашку, на которой перечислены его главные научные достижения. Список Фаддеева включал следующие шесть пунктов:

1. Квантовая проблема трёх тел.
2. Квантование поля Янга—Миллса.
3. Трёхмерная обратная задача теории рассеяния.
4. Алгебраический анзац Бете.
5. Квантование систем с аномалиями.
6. Ленинградская—Петербургская школа современной математической физики.

Получается, что создание нашей лаборатории математических проблем физики оценивалось мировым научным сообществом в одном ряду с важнейшими научными работами учёного.

Теперь уже трудно представить, как давно это было — молодёжному фаддеевскому семинару, с участия в котором началось наше посвящение в науку, исполнилось 56 лет. В 1969 г., когда я впервые пришёл на семинар Фаддеева (по рекомендации нашего университетского профессора Б.С. Павлова), группа математических проблем физики, ещё не отделившаяся от лаборатории математической физики (её возглавляла О.А. Ладыженская), занимала в Ленинградском отделении математического института (ЛОМИ) маленькую комнату, выгороженную перегородками из залы во флигеле старого особняка на Фонтанке. В ней едва помещались три стола и доска, покрытая коричневым линолеумом, на котором мел часто отказывался писать. Семинары начинались с довольно сложной процедуры плотной упаковки участников. Из других комнат приносили стулья и втискивали их между столами, участники семинара оказывались зажаты на своих местах без малейшей возможности пошевелиться. Большая часть присутствовавших — чуть старше 20, только В.Н. Попов и В.С. Буслаев были старше 30, далее шли несколько аспирантов из ЛОМИ и из университета (П.П. Кулиш, В.Б. Матвеев), с ними теснились совсем молодые студенты физфака и матмеха.

В то время Людвиг Дмитриевич читал лекции на матмехе и его курс квантовой механики вызывал некоторый ужас у студентов—математиков, уже впитавших язык и традиции школы Бурбаки, но, разумеется, из этого правила были и счастливые исключения. Основную часть участников составляли студенты физфака; все мы были тогда очень молоды и неопытны, но преисполнены энтузиазма и чувства, что в науке вот-вот произойдут важнейшие события. И это предчувствие вполне оправдалось: на протяжении пяти наших университетских лет появилась квантовая теория калибровочных полей, ставшая основой современной теории элементарных частиц, одновременно был разработан метод обратной задачи рассеяния в теории нелинейных дифференциальных уравнений. Для нас время это было совершенно волшебное. Можно сказать, целый мир открывался перед нами. Очень многие вещи, необходимые для работы с Л.Д., не входили в программу университета. Правда, базисная математика, связанная с квантовой механикой, на физфаке всегда преподавалась прекрасно — это была заслуга академика В.И. Смирнова, который разработал курс математики, специально ориентированный на квантовую физику; Л.Д. сам прошёл эту школу в 1950-е годы. Но теперь потребовалось выучить современную дифференциальную геометрию, группы и алгебры Ли, позже к ним добавилась алгебраическая топология, алгебраическая геометрия. Самым главным было ощущение связи фундаментальной физики и красивой математики.



То, что для нас было инициацией, первым знакомством с современной фундаментальной наукой, для самого Фаддеева было продолжением реализации той программы, которую он наметил для себя ещё в студенческие годы. Как он рассказывал, в школьные годы он не был особенно увлечён математикой и физикой. Он много читал, проштудировал всю средневековую историю Англии, в том числе по хроникам Шекспира. На первом курсе университета любовь к чтению его чуть не подвела: Л.Д. упомянул в каком-то разговоре, что ему особенно нравится Кнут Гамсун. Книги Гамсуна после войны находились под запретом, последовал донос, и студента-первокурсника вызвали для объяснений в комитет комсомола. Чтение “некоего Кнута” могло обернуться серьёзными неприятностями, но, к счастью для Л.Д., это произошло как раз незадолго до смерти Сталина.

Как рассказывал Людвиг Дмитриевич, университет по сравнению со школой поразил его атмосферой необычной свободы. Выбирая факультет, он решил поступать не на матмех, деканом которого в то время был его отец, замечательный алгебраист Д.К. Фаддеев, а на физфак — в этом сказались независимость и нонконформизм, которые отличали Л.Д. на протяжении всей жизни. Тем не менее на физическом факультете он выбрал в качестве специализации

именно математику, а не физику. Нужно сказать, что курс общей физики, который обычно читают на первых курсах физического факультета, традиционно получается не слишком удачным, я сам с этим столкнулся в следующем поколении, спустя 15 лет. А математика на физическом факультете читалась всегда блестяще. С первого курса лекционный курс математики оказывался самым интересным и глубоким из всех. К 3-му курсу, когда студенты начинали слушать курс квантовой механики, они уже владели необходимым математическим аппаратом, включая теорию дифференциальных уравнений, линейную алгебру и начала функционального анализа. При этом вплоть до начала 1950-х годов кафедра математики на физфаке имела статус вспомогательной, и студенты-физики не имели возможности писать дипломную работу по математике. Положение изменилось, когда на курсе, где учился Л.Д., проходило распределение студентов по кафедрам, и таким образом, он оказался в первой группе математической физики на физическом факультете.

Все основные спецкурсы по математике читала в то время Ольга Александровна Ладыженская. Ольга Александровна безусловно принадлежит к числу лучших математиков за всю историю Ленинградского университета. В центре её научных интересов были тогда дифференциальные уравне-



Л.Д. Фаддеев, Янг Чжэньнин и Р. Бакстер. Сеул, 1997



ния в частных производных, составляющие основу математического аппарата как квантовой механики, так и большинства разделов классической математической физики. Но для студенческого семинара она выбрала разбор привезённой кем-то в Ленинград книги “Математические проблемы квантовой теории поля” К. Фридрихса, ученика Р. Куранта и Д. Гильберта. (Интересно, что этот семинар упомянут в биографии Фридрихса на сайте Американской академии наук.) Изучение работ Фридрихса по квантовой теории поля и по теории рассеяния сыграло большую роль в научной биографии Фаддеева, способствовало овладению техническим арсеналом, которым он воспользовался в будущей работе.

В семинаре, организованном Ольгой Александровной, Л.Д. был основным докладчиком; как он вспоминал, каждый семинар начинался её словами: “Прежде всего, Людвиг, напомните нам определение операторов рождения—уничтожения”. Основы математического формализма квантовой теории поля с его весьма необычными для традиционного функционального анализа несамосопряжёнными операторами рождения—уничтожения были заложены ещё в 1920-е годы, в частности, в работах В.А. Фока, но его осмысление потребовало немалых усилий на протяжении не одного десятилетия. В 1950-е годы квантовая теория поля, да и сама квантовая механика были ещё очень молоды, и не только формализм теории поля, но и простейшие задачи потенциального рассеяния для оператора Шредингера оставались неизученными. Любую статью физиков можно было читать как сборник нерешённых задач по функциональному анализу. Сами физики, разработавшие к тому времени (без всякого обоснования!) глубокие и тонкие методы, прекрасно подтверждавшиеся в экспериментах, относились к математикам с некоторым высокомерием. Именно в 1950–1960-е годы получила хождение шутка о браке физики и математики, закончившемся разводом. Должно было пройти около двух десятилетий, прежде чем в фундаментальной физике оказались востребованы математические результаты “переднего края”.

Академик В.А. Фок, один из создателей в 1920–1930-е годы математического формализма квантовой теории поля, в 1950-е и позже, когда я учился на ленинградском физфаке, был как бы живой легендой. Он уже не занимался тогда квантовой теорией поля; на курсе Л.Д. он прочёл только несколько лекций по общей теории относительности. Тем не менее он обратил внимание на талантливого студента и через его мать Веру Николаевну Фаддееву<sup>2</sup>, с которой он был знаком ещё с 30-х го-

дов, передал ему свою старую книгу по квантовой механике, ставшую библиографической редкостью.

Первая студенческая работа Фаддеева была связана с доказательством теоремы разложения по собственным функциям непрерывного спектра для оператора Шрёдингера, что усиливало более ранний результат А.Я. Повзнера; другая работа, опубликованная в “Журнале экспериментальной и теоретической физики”, содержала короткий и изящный вывод дисперсионного соотношения для амплитуды рассеяния на нулевой угол (рассеяния вперёд) в потенциальном рассеянии. Этот результат удостоился упоминания в вышедшем спустя несколько лет новом издании знаменитого курса квантовой механики Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица (Л.Д. вспоминал позднее, что с Ландау так и не встретился, — доказательство дисперсионного соотношения он рассказывал Лифшицу). Для аспирантского экзамена в ЛОМИ он подготовил подробный обзор результатов об обратной задаче рассеяния для радиального уравнения Шрёдингера. (Стоит заметить, что интерес Л.Д. к обратной задаче также начался с его доклада в студенческом семинаре О.А. Ладыженской.) К этому времени обратной задаче рассеяния был посвящён ряд фундаментальных работ М.Г. Крейна, Б.М. Левитана, В.А. Марченко, И.М. Гельфанда. По приглашению академика Н.Н. Боголюбова в 1958 г. Л.Д. выступил с докладом об обратной задаче для радиального уравнения Шрёдингера на конференции, организованной лабораторией теоретической физики в Дубне, в присутствии всех классиков изучения обратной задачи. Переработанный доклад был опубликован как обзор в “Успехах математических наук” (позже мы и ещё несколько поколений молодых математиков учили по нему формализм обратной задачи).

Для своей кандидатской диссертации Фаддеев выбрал обратную задачу рассеяния для одномерного оператора Шрёдингера на всей оси (этот случай более сложен, чем радиальное уравнение Шрёдингера из-за наличия двукратного непрерывного спектра). В начале 1970-х годов эта работа неожиданно оказалась в центре всеобщего интереса: она послужила технической основой метода обратной задачи рассеяния — революционного нового метода решения нелинейных уравнений. Опубликована она была только спустя несколько лет, уже после знаменитой работы Л.Д. о квантовой проблеме трёх тел. В то время отношение к публикации результатов сильно отличалось от нынешнего — публиковать незавершённую работу или промежуточные результаты считалось неприличным. Людвиг Дмитриевич говорил: рассказывать нужно примерно треть того, что знаешь, тогда можно чувствовать себя уверенно и не бояться агрессивных вопросов. Разумеется, этот совет относился прежде всего к большим семинарам, где агрессивное отношение к докладчику

<sup>2</sup> В.Н. Фаддеева с 1942 г и до конца жизни была сотрудником ЛОМИ. В 1981 г. совместно с Д.К. Фаддеевым удостоена Государственной премии СССР за цикл работ по вычислительным методам линейной алгебры, опубликованных в 1950–1977 гг.



Фотография О.А. Ладыженской всегда стояла в кабинете Л.Д. Фаддеева на его рабочем столе

часто считалось нормой (в Ленинграде таким был знаменитый теоретический семинар Физтеха, перенявший традицию, восходившую к Ландау и через него к Паули). Другой причиной отсрочки стала работа о трёхчастичном рассеянии, которой Фаддеев занялся сразу после защиты кандидатской. По его словам, прежде чем обратиться к квантовой теории поля, для него было очень важно решить какую-нибудь технически сложную задачу. Одна из таких — трёхмерная обратная задача для оператора Шрёдингера; она оказалась очень трудной, Л.Д. удалось её решить только через несколько лет.

Квантовая задача трёх тел послужила другим серьёзным вызовом. Как говорил Л.Д., в её решении большую роль сыграл опыт работы с моделью Фридрихса; некоторые ключевые идеи возникли при изучении одной простой модели квантовой теории поля, интенсивно обсуждавшейся на рубеже 1960-х годов, — модели Тирринга. Центральная идея, способствовавшая успеху в задаче трёх тел, — удачная перестройка интегральных уравнений теории рассеяния, приводящая к новой системе уравнений с вполне непрерывными ядрами (они получили название уравнений Фаддеева). Докторскую диссертацию на основе этой работы Л.Д. защитил в учёном совете МИАНа в Москве. Л.Д. вспоминал о неожиданном появлении на заседании учёного совета В.А. Фока. Председательствовал на заседании академик И.М. Виноградов — он сидел в своём

глубоком кресле спиной к доске, зорко наблюдая за академическим синклитом, разместившимся в задних рядах зала. Фок пришёл уже после начала заседания. Он сел в первом ряду напротив Виноградова и через некоторое время обратился к нему со своим характерным высоким голосом: “Иван Матвеевич, вам не интересно, что рассказывает Людвиг? Вам не видно доску!”

Вышедшая в год защиты монография “Математические вопросы квантовой теории рассеяния для системы трёх частиц” (1963) сразу стала классической, в переводе на английский её издала спустя два года. 50-летие публикации этого перевода было отмечено в 2016 г. учреждением специальной медали имени Л.Д. Фаддеева, присуждаемой за работы по многочастичному рассеянию. Учреждение именной почётной медали при жизни учёного — редкий случай. Можно вспомнить медаль имени Макса Планка, учреждённую в 1929 г. по случаю его 70-летия, причём первые две медали вручили самому М. Планку и А. Эйнштейну. Кстати, Л.Д. тоже получил медаль Макса Планка — он был третьим российским учёным, удостоившимся этой награды (вслед за Л.Д. Ландау и Н.Н. Боголюбовым). Появление медали имени Фаддеева, к сожалению, немного запоздало, Л.Д. в это время был уже тяжело болен. Тем не менее он приехал в Орхус (Дания) и присутствовал на официальной церемонии.

Сам он эту свою знаменитую работу о задаче трёх тел с самого начала рассматривал как пройденный этап, после публикации монографии он решительно перешёл к другим задачам и больше ничего не писал на эту тему. Это была его знаменитая формула — “если вы чувствуете, что вы готовы начать писать серийные статьи, нужно сменить тематику”.

Рубеж 1960-х годов был важен и для Л.Д., и для других математиков его поколения как время первых контактов с зарубежными коллегами, практически прекратившихся с начала холодной войны. В 1962 г. Л.Д. впервые участвовал в работе Международного математического конгресса в Стокгольме. (К сожалению, одним из итогов поездки на конгресс советской делегации стал донос о несанкционированных контактах с иностранцами, в результате О.А. Ладыженская, например, не имела возможности выезда за границу в течение 20 последующих лет.) В 1963 г. Фаддеев в составе делегации молодых ленинградских математиков участвовал в советско-американском симпозиуме в Новосибирске. Американскую делегацию тогда возглавлял знаменитый Рихард Курант, а среди её участников был ещё молодой Питер Лакс, ставший затем одним из друзей Л.Д., — он встречался с ним и в Ленинграде, и в Нью-Йорке, где Лакс позже много лет был директором Математического института им. Куранта.

Работы Фаддеева о теории поля Янга–Миллса — по-видимому, самые известные и важные из его работ 1960-х годов. Однако с ними связана и дра-



матическая история, которую сам Л.Д. очень живо описал в выступлении на Общем собрании РАН в 2013 г. по случаю вручения ему Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова РАН [2]. Дело в том, что с середины 1950-х годов квантовая теория поля переживала трудное время и надолго вышла из моды. За блестящими успехами квантовой электродинамики последовало десятилетие безуспешных попыток применить теорию поля для расчёта внутриядерных сил. Но жесточайший удар ей нанесло открытие Л.Д. Ландау и И.Я. Померанчуком так называемого парадокса нуль-заряда — обращения в нуль перенормированной константы связи в результате учёта множественного рождения частиц. Этот парадокс относился к квантовой электродинамике, которая, в отличие от мезонной теории ядерных сил, прекрасно работала и позволяла рассчитывать тонкие эффекты с беспрецедентной точностью. Тем не менее результат тонкого (и правильного!) вычисления Ландау и Померанчука указывал, как считалось, на прямое логическое противоречие в её основах.

Хотя вывод Ландау основывался на теории возмущений, его физическая убедительность, связанная с картиной “экранировки” заряда в результате рождения виртуальных электронно-позитронных пар, была весьма велика. Именно эффект экранировки определяет знак коэффициента  $\beta$ , играющий критическую роль во всём рассуждении<sup>3</sup>. В своей последней короткой статье “Фундаментальные проблемы”, написанной незадолго до трагической автомобильной катастрофы, оборвавшей его научную карьеру, Л.Д. Ландау написал, со ссылкой на парадокс нуль-заряда, что гамильтонов метод в теории поля полностью мёртв и должен быть похоронен (“со всеми почестями, которых он заслуживает”). “Ввиду краткости жизни, — заключал Ландау, — мы не можем позволить себе заниматься задачами, не ведущими к новым результатам”. Слова Ландау воспринимались его учениками в начале 1960-х годов как заветные учителя, и когда в 1966 г. Л.Д. Фаддеев с В.Н. Поповым получили решающее продвижение в квантовой теории Янга—Миллса (именно на основе традиционного гамильтонова подхода), их статью не приняли к печати ни в одном из ведущих физических журналов в СССР, не опубликовали и за рубежом (для этого требовалось положительное заключение Отделения ядерной физики АН СССР). В результате с годичной задержкой появилось короткое сообщение об этой работе в “Physics Letters”, а полный текст был издан только в виде препринта Институтом теоретической физики АН УССР. Препринт был переведён на английский и опубликован в “Fermilab” лишь в 1973 г., уже в разгар бума, вызванного появлением последовательной теории

квантовых калибровочных полей. Л.Д. позже говорил с сожалением, что, если бы Ландау был здоров, он мог бы ему всё объяснить, а разговор с эпигонами Ландау оказался невозможен.

Геометрическая красота теории калибровочных полей Янга—Миллса стала понятна не сразу; первоначально Л.Д. хотел заниматься квантовой гравитацией, поля Янга—Миллса казались, скорее, более простым модельным примером. Теперь мы знаем, что этот пример оказался исключительно удачным — он позволил обобщить квантовую электродинамику, объединив её со слабыми взаимодействиями, и впервые построить последовательную теорию сильных взаимодействий. Геометрически теория Янга—Миллса — это, по существу, общая теория относительности в зарядовом пространстве и в этом смысле очень близка по духу к теории тяготения Эйнштейна. Идея о связи принципа общей ковариантности, составляющего основу общей теории относительности, и калибровочной инвариантности в электродинамике восходит ещё к работам Г. Вейля. Само название калибровочных преобразований связано с поучительной ошибкой Вейля: в своей работе 1918 г. он предложил геометрическую трактовку электромагнитного поля как связности с одномерной абелевой структурной группой, но поскольку квантовая механика с её комплексными волновыми функциями ещё не была создана, единственной возможной группой казались масштабные преобразования. Вейль предположил, что при параллельном переносе в электромагнитном поле меняется длина, и именно отсюда возник артиллерийский термин “калибровка”, продолживший уже существовавшую артиллерийскую метафору к электродинамике, начавшуюся с введения “зарядов”. Гипотеза Вейля об изменении масштабов в электромагнитном поле была полностью неверна, но после появления квантовой механики он исправил свою ошибку: “правильная” структурная группа — это группа вращений, действующая на фазу волновой функции заряженной частицы. В 1928 г. Вейль и независимо В.А. Фок вывели уравнение Дирака, описывающее заряженный электрон в электромагнитном поле на фоне произвольной метрики в пространстве—времени; полученные ими формулы фактически содержали многие элементы будущей неабелевой калибровочной теории.

Следующий важный шаг был сделан В. Гейзенбергом, который ввёл в теорию поля неабелеву группу изотопических преобразований, перемещающих волновые функции протона и нейтрона. Идея обобщить глобальные изотопические преобразования и перейти таким образом к неабелевой калибровочной теории была впервые высказана О. Клейном в неопубликованном докладе, сделанном за несколько недель до начала Второй мировой войны. В 1953 г. неабелева калибровочная теория была вновь независимо предложена Янгом и Мил-

<sup>3</sup> В первоначальном вычислении Ландау ошибся в знаке; правильный знак был получен А.Д. Галаниным и Б.Л. Иоффе, и Ландау позже говорил, что они спасли его честь.



лсом и тогда же подвергнута почти уничтожающей критике В. Паули: в её наивной форме эта теория предсказывает существование целого мультиплета безмассовых заряженных частиц, которые в природе не наблюдаются. В 1950-е годы теория Янга—Миллса, несмотря на её геометрическую естественность и красоту, оставалась малоизвестной и малоизученной, а задача её квантования не была решена.

Первую и не вполне удачную попытку построить квантовую теорию Янга—Миллса предпринял в начале 1960-х годов Р. Фейнман. Как и Фаддеев несколькими годами позднее, Фейнман хотел применить технику квантовой теории поля в общей теории относительности, но из-за громоздкости вычислений решил, по предложению М. Гелл-Манна, начать с технически более простой теории Янга—Миллса. Применяя к ней обычные правила вычисления теории возмущений, известные из квантовой электродинамики, Фейнман обнаружил, что наивный диаграммный подход даёт в однопетлевом приближении неунитарный ответ. Поправку, восстанавливающую унитарность, можно было интерпретировать как вклад дополнительной скалярной частицы. При этом эта фиктивная частица ведёт себя как фермион (в нарушение обычной связи между спином и статистикой).

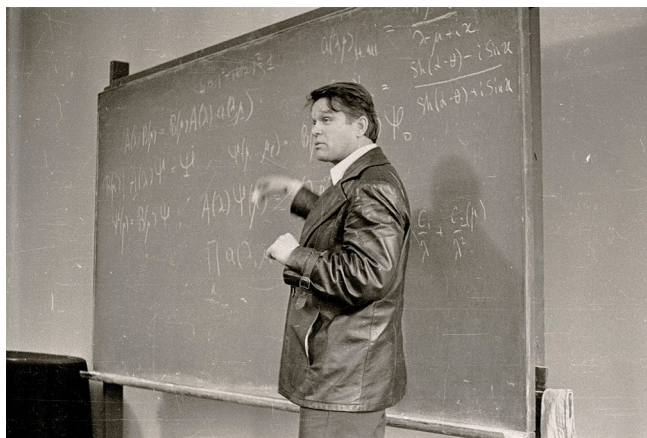
Результаты Фейнмана стали известны Фаддееву по записи его доклада на конференции по проблемам гравитации в Варшаве (её опубликовал польский журнал “Acta Physica Polonica”). Возникла задача объяснить эти результаты вне рамок теории возмущений и вычислить поправки к наивной теории за пределами однопетлевого приближения. Тогда же в магазине технической книги на Литейном Фаддеев увидел уценённую книгу французского математика А. Лихнеровича “Теория связностей в целом и группы голономий”, вышедшую в русском переводе несколькими годами ранее. Сходство формул для связностей в расслоениях и для полей Янга—Миллса оказалось поразительным; стало ясно, что теория Янга—Миллса так же красива и геометрически естественна, как и общая теория относительности.

Чтобы понять и обобщить вычисления Фейнмана, Фаддеев вместе со своим учеником В.Н. Поповым исходил из предложенной когда-то самим Фейнманом техники континуального интеграла. Виктор Николаевич Попов был одним из редких в то время экспертов по функциональным интегралам. Удивительным образом сам Фейнман, предложивший метод функциональных интегралов в конце 1940-х годов, не воспользовался им в задачах квантовой теории поля. В теории Янга—Миллса этот метод даёт простое и красивое решение проблемы унитарности, с которой столкнулся Фейнман. Л.Д. говорил позднее, что они с В.Н. Поповым переиграли Фейнмана на его собственном поле. Ключевой момент состоял при этом в построении правильной меры интегрирования, то есть в вычислении

некоторого определителя. Первый вариант этого вычисления (так называемый трюк Фаддеева—Попова) был предложен Поповым, а затем Л.Д. нашёл его очень красивое геометрическое обоснование. Знаменитая статья Фаддеева с изложением этого метода открывала первый номер журнала “Теоретическая и математическая физика”, основанного в 1969 г. (В 1970-х и 1980-х годах эта статья стала стандартным тестом при отборе студентов и аспирантов в лабораторию Л.Д. — статью полагалось понимать.) Вычисление функционального интеграла по теории возмущений приводит к диаграммной технике (когда-то именно изобретение этой техники “фейнмановских диаграмм”, описывающих распространение и взаимодействие квантовых частиц, сыграло революционную роль в физике — с их появлением квантовая теория поля обрела наглядный и адекватный язык); поправка, связанная с учётом детерминанта, эквивалентна добавлению к этим диаграммам ещё одной “фиктивной” частицы. Эти частицы — знаменитые “духи Фаддеева—Попова” — стали своего рода визитной карточкой нового метода, о них слышали и те, кто не знает теории поля и вообще физики.

Людвиг Дмитриевич всегда относился к Р. Фейнману с огромным уважением и считал его одним из своих духовных учителей, наряду с П. Дираком и Г. Вейлем. Уже после смерти Фейнмана, посетив его рабочий кабинет в Пасадене, Л.Д. заметил его записку на аспидной доске — в числе того, что Фейнман хотел выучить, фигурировал и алгебраический анзац Бете, который был как раз в это время придуман в нашей лаборатории самим Фаддеевым и его учениками. Л.Д. рассказывал об этой находке с большой гордостью. Фейнман правильно понял, что алгебраический анзац Бете, связанный с обобщением одномерных спиновых цепочек, позволит продвинуться в изучении высокоэнергетического рассеяния в квантовой теории поля, но не успел реализовать эту программу — это было независимо сделано через несколько лет в Петербургском институте ядерной физики им. Б.П. Константинова Л.Н. Липатовым и затем развито — на основе разработанного Л.Д. и его учениками формализма квантового метода обратной задачи — в совместной работе Г.П. Корчемского и самого Фаддеева.

Работа Фаддеева и Попова, в которой им впервые удалось получить корректное квантование теории Янга—Миллса, послужила базой для настоящей революции в физике. Разумеется, как и в квантовой электродинамике, получение диаграммного разложения — только первый этап построения корректной теории. Второй и не менее важный этап — перенормировка константы связи и построение перенормированного ряда теории возмущений. Так как теория Янга—Миллса нелинейна, вопрос о её перенормируемости значительно более сложен, чем в электродинамике, но по-прежнему критически зависит от явного учёта её калибровочной инвариантности.



На конференции в ЛОМИ. Октябрь 1978 г.

Фото А. Будагова

В работе А.А. Славнова перенормируемость теории Янга–Миллса была доказана для безмассовой теории. Однако для приложений ещё более важным оказалась возможность соединить программу перенормировки с механизмом спонтанного нарушения симметрии (“механизм Хиггса”, предложенный независимо П. Хиггсом и Р. Браутом и Ф. Энглером в 1964 г.), в результате которого часть квантов поля Янга–Миллса приобретает массу.

Основанная на механизме Хиггса калибровочная модель электромагнитных и слабых взаимодействий, предложенная в 1967 г. С. Вайнбергом, полностью изменила отношение теоретиков к калибровочным теориям. В результате появившаяся в том же году (с годичной задержкой) работа Фаддеева и Попова немедленно оказалась в центре взрывного развития калибровочной теории и послужила базой дальнейших исследований. Перенормируемость теории Янга–Миллса со спонтанным нарушением калибровочной симметрии была доказана в работах Г. ’т Хоофта и М. Вельмана. Ключевое открытие начала 1970-х годов состояло в том, что калибровочная симметрия свободна от парадокса нуля-заряда (так как кванты поля Янга–Миллса заряженные, механизм “экранировки” заряда сменяется на “антиэкранировку” — другими словами, взаимодействие становится слабым на малых расстояниях). Технически этот результат связан с изменением знака константы  $\beta$ , что позволило распространить калибровочную теорию на сильные взаимодействия. Результатом этого беспрецедентного развития стало построение “стандартной модели” в физике элементарных частиц, отмеченное несколькими Нобелевскими премиями. К сожалению, Л.Д. не попал в число лауреатов. Не только мы, его ученики, считаем, что это явная несправедливость. Старый друг Л.Д. и создатель теории Янга–Миллса выдающийся физик Янг Чженьнин написал по этому поводу: “Многие, включая меня, считали, что Фаддеев должен был разделить Нобе-

левскую премию 1999 г. с ’т Хоофтом и Вельманом. Среди физиков-теоретиков в XX в. существовало странное отношение к математике. В XIX в. работы Максвелла, Больцмана, Гиббса, Кельвина, Лоренца свидетельствовали о противоположном отношении к роли математики в физике. Кажется, что с некоторой заносчивости молодых Паули и Гейзенберга берёт своё начало представление, что математика только вредит оригинальности в физике. Свидетельство тому — страдания и горечь Макса Борна или Вигнера. Хотя Гейзенберг в поздние годы изменил свои взгляды на математику, в американской физике это высокомерное пренебрежение математикой надолго укоренилось. Я думаю, что это одна из причин, почему Фаддеев не был включён в число лауреатов 1999 г.” Относительная изоляция, в которой в 1960-е годы и позже находились наши учёные, безусловно, тоже сыграла свою роль — так же, как и блокирующая научная “цензура”, которая воспрепятствовала своевременной публикации его замечательного результата.

Молодёжный фаддеевский семинар и сложившаяся вокруг него группа математических проблем физики начали свою работу как раз в это время, вскоре после публикации знаменитых работ Л.Д. по квантованию поля Янга–Миллса. Выбор тематики семинара в значительной степени определялся этими работами, в дополнение к классическому функциональному анализу, который мы изучали в университете, нужна была современная геометрия, группы Ли, гамильтонова механика... Монографии и учебники, по которым училось следующее поколение математиков и теоретиков, ещё не были написаны, так что нам приходилось начинать своё образование почти с нуля и разбирать оригинальные работы.

Ключевым словом семинара было “квантование”. Мы разбирали основные технические средства квантовой теории поля — континуальные интегралы, перенормировки, размерную регуляризацию. Другой важный сюжет — геометрическое квантование (знаменитый “метод орбит”, предложенный А.А. Кирилловым и Б. Костантом). Многие результаты в это время оставались неопубликованными, и их приходилось восстанавливать по коротким анонсам, при этом руководством к действию для нас служили слова Л.Д.: “Квазиклассика должна быть точна для систем с большой группой симметрии”. Граница между известным и неизвестным проходила очень близко, и многие из нас предприняли первые попытки продвинуться самостоятельно. Очень важна была возможность обсуждать у доски с самим Л.Д. ещё очень туманные идеи. Чаще всего его предложения оказывались правильными, но даже в тех редких случаях, когда он оказывался неправ, было необычайно поучительно разобраться в его предложениях и понять, как их поправить.

Другим важным принципом, который Л.Д. любил повторять, было его убеждение, что квантовая механика должна давать ключ к задачам чистой математики. Ещё в начале 1960-х годов И.М. Гельфанд предложил ему разобрать с помощью техники квантовой теории рассеяния знаменитую формулу следа Сельберга. Результат А. Сельберга находится на стыке аналитической теории чисел, теории представлений групп Ли и спектральной теории операторов, доказательство самого Сельберга в то время оставалось неопубликованным. С первым вопросом Гельфанда — спектральной теоремой для автоморфного оператора Лапласа на плоскости Лобачевского — Л.Д. справился за две недели, а неарифметическое доказательство формулы Сельберга он получил несколько лет спустя вместе со своими аспирантами А.Б. Венковым и В.Л. Калинин. Одновременно вместе с Б.С. Павловым Л.Д. предложил в терминах теории рассеяния очень интересную и романтическую переформулировку центральной проблемы аналитической теории чисел — гипотезы Римана.

Начиная с 1971 г. в тематику семинара вошла новые сюжеты, которые его совершенно преобразили. На проходившей в Новосибирске международной конференции по обратным задачам Л.Д. представил свои результаты по трёхмерной обратной задаче теории рассеяния. Главным событием конференции стали доклады о новом революционном методе решения нелинейных эволюционных уравнений в частных производных. Первая работа на эту тему — знаменитая статья К. Гарднера, Дж. Грина, М. Крускала и Р. Миуры об уравнении Кортевега—де Фриза — появилась ещё в 1967 г., но некоторое время ассоциировалась с каким-то непонятным трюком. Результат Крускала был значительно прояснён спустя несколько лет П. Лаксом, а затем А.Б. Шабат и В.Е. Захаров обнаружили целый класс новых примеров, в частности, знаменитое нелинейное уравнение Шрёдингера; стало ясно, что речь идёт не о трюке, а о поразительном новом методе с широким спектром применений.

Обратная задача для одномерного уравнения Шрёдингера (или для близкого уравнения Дирака) на всей оси, которой была посвящена кандидатская диссертация Фаддеева, стала ключом для решения нелинейных уравнений. Ещё одним важным техническим средством оказались спектральные тождества следов для дифференциальных операторов, которыми Л.Д. занимался вместе с В.С. Буслаевым в начале 1960-х годов: они позволяют выразить гамма-функции и другие интегралы движения через данные рассеяния. Результатом дискуссий на новосибирской конференции стала знаменитая работа Захарова и Фаддеева “Уравнение Кортевега—де Фриза — вполне интегрируемая гамма-функция система”. Понятие полной интегрируемости возникло в аналитической механике в XIX в.; в середине 1960-х годов В.И. Арнольд привлёк к нему внима-

ние, предложив для него красивую геометрическую формулировку (это знаменитая теперь теорема Лиувилля—Арнольда). Математики XIX в. придумали довольно много тонких примеров интегрируемых систем, для их решения использовались специальные замены переменных. Эти сюжеты какое-то время считались вершиной математического анализа и входили в программы университетских экзаменов, но постепенно стало понятно, что “общие” механические системы очень далеки от интегрируемости. После работ Пуанкаре интерес сместился в сторону доказательства неинтегрируемости, изучения хаоса и др., и интегрируемые системы надолго вышли из моды. Ни одного нетривиального примера бесконечномерной интегрируемой систем, то есть систем полевого типа, не было известно. Хотя в работе Захарова и Фаддеева, по существу, переформулировались уже известные факты, её идеологическое значение было огромным: выяснилось, что бесконечномерные интегрируемые системы существуют, они интересны и нетривиальны. Особенно интересным оказалось явное описание фазового пространства уравнения Кортевега—де Фриза в терминах “данных рассеяния”, в нём выделился вклад знаменитых солитонных решений (уединённых волн), причём они вели себя как настоящие частицы. Произошла, как любил позже говорить Захаров, смена парадигмы.

Солидная подготовка по теории рассеяния всегда служила частью преподавания квантовой механики и функционального анализа на физическом факультете, так что участники нашего семинара могли немедленно включиться в новую работу. Поиск новых “лаксовых пар” и связанных с ними нелинейных уравнений напоминал на этом этапе увлекательную охоту. С самого начала интерес Л.Д. к интегрируемым уравнениям был связан с надеждой применить новую технику в квантовой теории поля. Конечно, уравнение Кортевега—де Фриза с его нерелятивистской кинематикой — не слишком удачный пример для квантовой теории, но новый метод исследования нелинейных уравнений позволял надеяться, что можно построить и примеры релятивистских интегрируемых уравнений. И такой пример вскоре появился — знаменитое уравнение  $\text{sine-Gordon}$ , о котором Фаддеев впервые узнал от американского физика Дж. Клаудера во время своей поездки в США в 1972 г. Вскоре после возвращения Л.Д. вместе со своим новым молодым сотрудником Л.А. Тахтаджяном нашёл для этого уравнения лаксову пару. Чуть позже к Тахтаджяну и Фаддееву присоединился Захаров; результатом этой работы стало полное описание решений и, самое главное, красивые и прозрачные формулы для энергии и импульса поля синус-Гордона; в элементарной линейной теории аналогичные формулы служат основой для интерпретации решений полевых уравнений в терминах частиц (знаменитый “корпускулярно-волновой дуализм”). В новой модели, кроме частиц, связанных с исходным полем, возникал вклад, свя-



занный с частицами нового типа — солитонами и их связанными состояниями. Идея связать солитонные решения с новыми частицами (отсутствующими при “наивном” квантовании модели) и сама возможность разрушить старую парадигму квантовой теории поля “одно поле — один тип частиц” — поражали воображение.

Первоначальное отношение теоретиков к квантовым солитонам было резко скептическим: они считали, что интегрируемость, высшие законы сохранения и солитонные решения неизбежно разрушатся при переходе к квантовой модели. Доклад Л.Д. на знаменитом теоретическом семинаре В.Н. Грибова в дни зимней школы Ленинградского института ядерной физики 1974 г., посвящённый квазиклассическому квантованию модели синус-Гордона, закончился поражением — после четырёх часов у доски Людвиг Дмитриевич сорвал голос и вынужден был уйти, сопровождаемый ироническими замечаниями о попытках воскресить “мечту Эйнштейна”. После этой неудачи Л.Д. у Грибова больше не выступал — защита точки зрения нашей лаборатории была поручена его молодым ученикам. Ключевое вычисление по теории возмущений, подтверждавшее устойчивость солитонов при квантовании, провели И.А. Арефьева и В.Е. Корепин. Володя Корепин, в то время аспирант первого года, прошёл на физфаке серьёзную школу по квантовой теории поля и мог говорить с участниками грибовского семинара на их языке. В итоге его боевое крещение прошло успешно — теоретики наконец признали нашу правоту. А спустя несколько лет удалось достигнуть и настоящего прорыва — вместо приближённого квазиклассического решения построить точное.

Исходным пунктом нового прорывного развития послужил доклад Л.Д. на семинаре нашей лаборатории в мае 1978 г. Новый метод получил название “квантовый метод обратной задачи рассеяния”. Он объединил несколько идей, которые казались совершенно не связанными друг с другом: от старых классических работ Г. Бете о спиновых цепочках и более недавних результатов Р. Бакстера по квантовой статистической физике до классического метода обратной задачи и техники построения лаксовых пар. Основой нового метода стала красивая алгебра, связанная с понятием “квантовой R-матрицы”. Один из первых примеров квантовой R-матрицы извлекался из старой работы Янга, поэтому для ключевого тождества в новой теории Фаддеев предложил название “тождество Янга–Бакстера”, под этим именем оно и получило широкую известность. В разгар работы по построению теории квантовых интегрируемых систем, осенью того же 1978 г., в ЛОМИ состоялась первая конференция по квантовой теории солитонов. В ней участвовали и классики предыдущего этапа развития физики — А.Б. Мигдал и В.Н. Грибов, и лучшие эксперты по классическим интегрируемым системам — В.Е. За-



Л.Д. Фаддеев. Университет Орхуса, Дания, 2010.

Фото М.А. Семёнова-Тян-Шанского

харов и С.П. Новиков со своими учениками, и молодые теоретики — А.М. Поляков, А.А. Белавин, А.Б. Замолодчиков. Эта конференция вспоминается сейчас как момент удивительного единства науки.

С самого начала работа над новым методом шла коллективно, силами всей лаборатории. Представляя несколькими годами ранее нашу группу П. Лаксу, Л.Д. сказал, что для самого себя он выбрал роль играющего тренера. Особенно важный вклад внесли работы Е.К. Складина и Л.А. Тахтаджяна. В работах А.Г. Изергина и В.Е. Корепина, Ф.А. Смирнова была развита эффективная техника, позволившая вычислять основные физические характеристики квантовых интегрируемых моделей — их корреляционные функции, формфакторы и пр. Наконец, Ф.А. Смирнов получил решение квантовой обратной задачи, то есть задачи восстановления “локальных” наблюдаемых квантовой интегрируемой системы по спектральным данным.

При своём возникновении квантовый метод обратной задачи казался многим несколько академическим изобретением в силу того, что его применения ограничивались моделями теории поля в двумерном пространстве — времени и квантовой статистической физики на одномерных решётках. Потенциал нового метода стал понятен лишь по прошествии лет — постепенно. В 1990-х годах оказалось, что варианты интегрируемых спиновых моделей описывают высокоэнергетическую асимптотику в теории Янга–Миллса. Тот факт, что описание высокоэнергетической асимптотики приводит к эффективно двумерным теориям, был известен давно, но оказалось, что эти теории — к тому же интегрируемые, и для их явного решения применим немного обобщённый квантовый метод

обратной задачи (работы Л.Н. Липатова и Л.Д. с Г.П. Корчемским). Это ещё один случай, когда фаддеевская математика пересеклась с техникой и задачами школы Ландау.

Одним из важнейших побочных продуктов нового метода стала теория “квантовых групп”. Первый пример квантовой группы построили П.П. Кулиш и Н.Ю. Решетихин в начале 1980-х годов, а затем В.Г. Дринфельд предложил общую аксиоматику и глубокое обобщение этого примера. Открытие квантовых групп стало, пожалуй, самым важным событием в некоммутативной алгебре после изобретения в конце XIX в. групп и алгебр Ли. Значительный вклад в их изучение был внесён в нашей лаборатории Н.Ю. Решетихиным, Л.А. Тахтаджяном и самим Л.Д. Параллельно под влиянием этих результатов удалось прояснить и геометрию классических интегрируемых систем, связанных с методом обратной задачи: удачный синтез позволил связать “метод одевания”, изобретённый ещё в начале 1970-х годов Захаровым и Шабатом, новую концепцию классических г-матриц, появившихся в работах Склянина как квазиклассический вариант квантовых R-матриц, и метод орбит Кириллова—Костанта (этим сюжетом мы занимались вдвоём с А.Г. Рейманом).

Эти работы привели к глубокому изменению всего ландшафта мировой математической физики. Именно тогда наша группа получила международное признание.

Прошло 40 лет. “Иных уж нет, а те далече...” Сотрудники лаборатории Фаддеева оказались рассеяны по четырём континентам. Сам Л.Д. проводил за границей немало времени, но Петербург, Комарово всегда оставались его домом. Он потратил много сил на создание в Петербурге Международного математического института им. Леонарда Эйлера. В 1990-е годы это стоило ему инфаркта и принесло немало трудностей и фрустраций. Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, в котором Л.Д. проработал всю жизнь, превратился в ФГБУН “Математический институт им. В.А. Стеклова” (в кавычках). Новое сокращение, которое я не берусь выговорить, стало знаком отношения власти к фундаментальной науке в современной России. Юбилейные конференции в честь Л.Д. Фаддеева и с его участием проходили в Вене, Женеве, Петербурге. Последняя маленькая конференция, собравшая его учеников, прошла в 2015 г. в Шамони, у подножья Монблана. Все эти годы Л.Д. продолжал работать с прежним азартом и технической силой. От коллективного стиля работы 1970–1980-х годов он в значительной степени вернулся к более индивидуальному стилю своей молодости. Его работы 1990–2010-х годов охватывают почти все области исследований, о которых рассказано выше, как и многое из того, о чём написать не удалось. Многие из этих работ остаются вызовом для будущих исследователей.

Награды Л.Д. Фаддеева включают премию Д. Хайнемана в области математической физики (1974), медаль Дирака (1990), медаль им. Макса Планка (1996), премию им. И.Я. Померанчука (2002), премию А. Пуанкаре (2006), премию Шао (2008, совместно с В.И. Арнольдом), Государственную премию СССР (1971), Государственные премии Российской Федерации (1995, совместно с А.А. Славновым; 2005), Демидовскую премию (2002), медаль им. Л. Эйлера (2002), Большую золотую медаль имени М.В. Ломоносова РАН (2013)<sup>4</sup>. Он был иностранным членом ряда академий и научных обществ, в том числе Парижской академии наук (с 2002 г.), Лондонского Королевского общества (с 2010 г.) и Национальной академии наук США (с 1990 г.). В разные годы Л.Д. сам обращался к своей математической биографии и посвятил ей несколько статей [1–3]. Подробный обзор его математических работ опубликован в большой статье его учеников [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Фаддеев Л.Д.* 30 лет в математической физике // Математическая физика и комплексный анализ. Сб. обзорных статей. Труды МИАН СССР. Т. 176. М.: Наука, 1987. С. 4–29.  
*Faddeev L.D.* 30 years in mathematical physics // Mathematical physics and complex analysis. Collection of review articles. Proceedings of the MIAN USSR. V. 176. M.: Nauka, 1987. P. 4–29. (In Russ.)
2. *Фаддеев Л.Д.* Моя жизнь среди квантовых полей // Вестник РАН. 2014. № 9. С. 797–804.  
*Faddeev L.D.* My life among quantum fields // Herald of the RAS. 2014. № 9. P. 797–804. (In Russ.)
3. *Фаддеев Л.Д.* Новая жизнь полной интегрируемости // УФН. 2013. Т. 183. № 5. С. 487–495.  
*Faddeev L.D.* A new life of complete integrability // Physics—Uspekhi. 2013. V. 56. № 5. P. 465–472.
4. *Тахтаджян Л.А., Алексеев А.Ю., Арефьева И.Я. и др.* Научное наследие Л.Д. Фаддеева. Обзор работ // УМН. 2017. Т. 72. Вып. 6(438). С. 3–112. <https://doi.org/10.4213/rm9799>  
*Takhtajan L.A., Alekseev A.Yu., Aref'eva I.Ya. et al.* Scientific heritage of L. D. Faddeev. Survey of papers // Russian Mathematical Surveys. 2017. V. 72. Is. 6. P. 977–1081.
5. *Semenov-Tian-Shansky M.* Some personal historic notes on our seminar. L.D. Faddeev's Seminar on

<sup>4</sup> В списке отсутствует Ленинская премия, на которую Л.Д. номинировался несколько раз. Один из этих случаев особенно характерен. В начале 1980-х годов на премию были выдвинуты работы В.Е. Захарова, Л.Д. Фаддеева и А.Б. Шабата по классическому методу обратной задачи. Комитет по Ленинским премиям поддержал эту номинацию, но исключил из числа кандидатов А.Б. Шабата, после чего В.Е. Захаров и Л.Д. Фаддеев сняли свои кандидатуры.

- Mathematical Physics // Advances in Math. Sciences. V. 49 / M. Semenov-Tian-Shansky, ed. American Mathematical Society Translations. Ser. 2. V. 201. AMS, Providence, R.I., 2000. P. 1–8.
6. Interview with Professor L.D. Faddeev conducted by M. Semenov-Tian-Shansky // EMS Newsl. 2007. V. 64. P. 31–37.
7. *Aref'eva I, Semenov-Tian-Shansky M.A., Takhtajan L.A.* Ludwig Faddeev (1934–2017) – His Work and Legacy // EMS Newsl. 2017. V. 104. P. 35–40.
8. *Семёнов-Тян-Шанский М.А.* О нашем учителе // Природа. 2017. № 5. С. 77–85.  
*Semenov-Tian-Shansky M.A.* About our teacher // Priroda. 2017. № 5. P. 77–85. (In Russ.)

# FROM QUANTUM FIELD THEORY TO THE QUANTUM METHOD THE INVERSE PROBLEM ON THE 90<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF ACADEMICIAN L.D. FADDEEV

**M.A. Semenov-Tyan-Shanskiy<sup>a,b,\*</sup>**

<sup>a</sup>*Sankt-St. Petersburg Department of the Mathematical Institute V.A. Steklov Russian Academy of Sciences,  
St. Petersburg, Russia*

<sup>b</sup>*University of Burgundy, Dijon, France*

<sup>\*</sup>*E-mail: semenov@pdmi.ras.ru*

The article is dedicated to the life and work of a theoretical physicist and mathematician, a full member of the USSR Academy of Sciences and RAS L.D. Faddeev (1934–2017), the formation of his scientific school. Faddeev's works on scattering theory, quantum field theory, classical and quantum theory of integrable systems were included in the golden fund of world science and largely determined the face of modern mathematical physics. The author of the article is an employee of the Laboratory of Mathematical Problems of Physics created by L.D. Faddeev at the St. Petersburg Department of the V.A. Steklov Mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences since its foundation.

**Keywords:** L.D. Faddeev, scattering theory, quantum three-body problem, gauge fields, Yang-Miller theory, theory of integrable systems, quantum solitons, classical and quantum inverse problem method.



---

---

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

---

---

**ЧЕЛОВЕК НА ВСЕ ВРЕМЕНА**

**К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Н.С. ЕНИКОЛОПОВА**

© 2024 г. В.Г. Шевченко<sup>а,\*</sup>

<sup>а</sup>Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия

\*E-mail: shev@ispm.ru

Поступила в редакцию 16.02.2024 г.

После доработки 20.02.2024 г.

Принята к публикации 25.02.2024 г.

В 2024 г. отмечается 100-летие со дня рождения выдающегося физикохимика XX в. академика Н.С. Ениколопова. Учёный обладал огромной тягой и любовью к науке, был талантливым организатором и педагогом. Его научная школа взрастила многих исследователей. Сложно переоценить вклад Ениколопова в развитие химической науки и промышленности полимеров. В числе наиболее заметных достижений Николая Сергеевича — обнаружение и исследование аномально быстрой полимеризации в твёрдой фазе, открытие реакции межцепного обмена в процессах образования гетероцепных полимеров и др.

*Ключевые слова:* Н.С. Ениколопов, химическая физика, химия полимеров, твердофазная полимеризация, передача цепи с разрывом, полиформальдегид, полимерные композиты.

DOI: 10.31857/S0869587324040071, EDN: GENHBP

Николай Сергеевич Ениколопов (Ениколопян) родился 13 марта 1924 г. в Степанакерте — административном центре Автономной области Нагорного Карабаха Азербайджанской ССР (с 1937 г. по сентябрь 1991 г. — Нагорно-Карабахская автономная область Азербайджанской ССР) [1, 2]. История династии Ениколоповых насчитывает более 300 лет. Эта старинная армянская фамилия впервые упоминается в письменных источниках XVII в. Существует целый ряд исследований, основанных на средневековых хрониках и документах, которые посвящены генеалогии рода и жизнеописанию многочисленных членов этой семьи. Многие в роду Ениколоповых были высокопоставленными и влиятельными людьми на Кавказе, в Малой Азии, на Ближнем Востоке, среди них имелись военные дипломаты и многоязычные переводчики. Именно толмачи стали причиной появления такой фамилии: один из представителей династии — мирза Гурген (титул мирзы носил человек, прошедший обучение на писца в персидских обществах) — благодаря своим языковым способностям получил от



Николай Сергеевич Ениколопов (1924–1993)

---

ШЕВЧЕНКО Виталий Георгиевич — доктор химических наук, заведующий лабораторией структуры полимерных материалов ИСПМ РАН.



Н.С. Ениколопов в Национальной галерее Армении рядом с портретом своего предка Ениколопова (художник Сукиасян)

грузинских царей фамилию Энаколоп, что в переводе означает “языковая шкатулка” [3].

В книге Ю.Н. Тынянова “Смерть Вазир-Мухтара” упоминается командир полка персидской армии и его брат, полковник русской армии Ениколопов — начальник канцелярии губернатора в Тифлисе. Полковник, согласно источнику друживший с А.С. Грибоедовым, приходился прадедом человеку, который стал не дипломатом или переводчиком, а выдающимся химиком с не меньшими заслугами, чем у прославленных предков. Сегодня его имя носит один из главных центров мировой химической науки — Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН. Вклад Николая Сергеевича в науку настолько огромен, что его бывшие коллеги и ученики на протяжении уже трёх десятилетий встречаются 13 марта в стенах института на “Ениколоповских чтениях”, чтобы обсудить насущные проблемы химии полимеров, которая объединила их с великим учёным и человеком с большой буквы.

Юношеские годы Николая Ениколопова были омрачены тем, что в 1937 г. репрессировали его отца Сергея Даниловича. Все заботы по воспитанию четверых детей легли на плечи матери Генофии Аслановны (в девичестве Гукасян). В 1940 г. в возрасте 16 лет после окончания средней школы имени Максима Горького в Степанакерте Ениколопов поехал в Ереван, где подал документы в Медицинский институт и приступил к экзаменам. Физику и химию сдал на пятёрки, что даже было отмечено корреспондентом местной газеты. Затем последовали экзамены по русскому и армянскому языкам

и зачисление в институт. Однако Николаю там не понравилось, по его словам, он не чувствовал там науки. В конце сентября он узнал, что в Ереванском политехническом институте (ныне Национальный политехнический университет Армении) недобор, и как-то вечером направился туда. Он встретил заместителя декана факультета, которому сказал, что хотел бы учиться на инженера. Оказалось, что свободные места имеются только на химическо-технологическом факультете. После сдачи экзамена по математике Ениколопов был зачислен на факультет, который окончил в 1945 г. по специальности “инженер по технологии электрохимических производств” с дипломной работой “Цех электролиза NaCl нового типа”.

**Становление и развитие научной деятельности.** Н.С. Ениколопова приняли на работу в Институт химии АН Армении на должность лаборанта, а затем предложили поехать на химкомбинат в Кировакан к профессору Л.А. Ротиняну. Здесь стоит упомянуть, что ещё в 1904 г. правительство направило А.Ф. Иоффе и Л.А. Ротиняна как талантливых молодых учёных на учёбу за границу. Иоффе попал к В. Рентгену, а Ротинян — к основоположнику современной термодинамики В. Нернсту. Вернувшись из Германии, Ротинян основал в Петербургском политехническом институте первую после М.В. Ломоносова лабораторию физической химии. В 1920 г. был создан Ереванский университет, и он возглавил там кафедру физической химии. Под его руководством Ениколопов выполнил свою первую научную работу “Механизм получения цианамиды кальция из карбида кальция и азота”.



Н.С. Ениколопов со своим наставником — академиком Н.Н. Семёновым, 1982 г.

Осенью 1945 г. в Ереван приехал один из основателей химической физики Н.Н. Семёнов. Он знал Ротиняна как близкого друга Иоффе и очень хорошо к нему относился, тот в свою очередь познакомил его с Н.С. Ениколоповым. Николай Николаевич пригласил Ениколопова на лекции, которые планировал читать в Академии наук Армении, и обещал взять его работать к своему ученику А.Б. Налбандяну. В ноябре 1945 г. Арам Багратович сообщил Ениколопову о его приёме в аспирантуру Института химической физики АН СССР (ИХФ АН СССР). 19 января 1946 г. Николай Сергеевич с товарищем приехали в Москву.

Благодаря научным руководителям Н.Н. Семёнову и А.Б. Налбандяну, а также старшим коллегам — видным учёным В.Н. Кондратьеву, В.В. Воеводскому, Д.А. Франк-Каменецкому, Я.Б. Зельдовичу, лекции которых в 1946–1948 гг. слушали аспиранты и молодые сотрудники ИХФ АН СССР, у Н.С. Ениколопова на всю жизнь сохранился интерес к химической кинетике и точным математическим методам. Под руководством Налбандяна, мастера кинетического эксперимента, Ениколопов быстро овладел тонкой экспериментальной техникой. Кандидатскую диссертацию “Механизм низкотемпературного окисления оксида углерода” он защитил в 1949 г. В работе было дано объяснение явлению многократного периодического воспламенения реакционной смеси при достижении критической концентрации молекулярного кислорода.

Дальнейшие исследования Н.С. Ениколопова в период 1949–1960 гг., способствовавшие развитию теории цепных реакций Н.Н. Семёнова, связаны с изучением сложных процессов газофазного

окисления углеводородов. Эти труды оказались важны и в практическом смысле, поскольку позволили получить кинетические данные о сложных цепных процессах, управление которыми базируется на знании их детального механизма. В настоящее время установление механизма окисления углеводородов по-прежнему играет важную роль. В частности, метод идентификации природы разветвляющего агента Ениколопова использовался в более поздних работах по термическому окислению этана и пропана.

Накопленный к настоящему времени экспериментальный материал по газофазному окислению подтверждает адекватность высказанного учёным предположения о том, что вырожденное разветвление осуществляется при взаимодействии радикала с активным промежуточным продуктом. Такой механизм разветвления позволяет объяснить наличие критических явлений при окислении многих углеводородов. Основные результаты исследований в области газофазного окисления углеводородов, выполненных в 1947–1959 гг., описаны в докторской диссертации Ениколопова “Кинетические особенности сложных цепных реакций окисления углеводородов”, которая была успешно защищена в 1959 г. в ИХФ АН СССР [4].

Так сложилось, что Н.Н. Семёнов трижды повлиял на судьбу Н.С. Ениколопова, изменяя области его научной деятельности. Первый раз — сразу при знакомстве в 1945 г. Работая в Кировакане у Ротиняна, Ениколопов больше двух лет усиленно занимался математикой и готовился к поступлению в аспирантуру по теоретической физике к академику И.Я. Померанчуку, который во время войны был профессором Ереванского государственного уни-



верситета. После своих первых лекций о тепловом и цепном взрывах и механизме самовоспламенения водорода с кислородом Семёнов согласился принять Ениколопова в аспирантуру. Защитив кандидатскую диссертацию, Николай Сергеевич стал заниматься механизмом окисления метана, получением товарного формальдегида как промежуточного продукта. Чтобы добиться максимального выхода формальдегида, необходимо было решить вариационную задачу: какой должна быть кривая изменения температуры вдоль пути реакции? В ходе работы требовалось, кроме того, проектировать реактор. Ениколопов так увлёкся теорией теплопередачи, что решил перейти в Институт теплотехники, где ему предложили место заведующего лабораторией и квартиру. Узнав об этом, Николай Николаевич пригласил его к себе и отговорил уходить, что стало вторым судьбоносным решением. Наконец, Н.Н. Семёнов убедил Николая Сергеевича заняться совершенно новой для него областью химической науки — химией полимеров. Это был период становления “большой химии” в нашей стране.

В 1960 г. в ИХФ АН СССР было организовано несколько лабораторий для изучения физикохимии высокомолекулярных соединений. Н.С. Ениколопов с 1960 по 1980 г. занимал должность заведующего лабораторией кинетики полимеризационных процессов и был научным руководителем многих направлений исследований в области физикохимии полимеров и композитов. В 1973 г. на базе отдела полимеров был создан сектор полимеров и композиционных материалов, в состав которого вошли три отдела. Николай Сергеевич возглавлял сектор, а также отдел физики и химии композиционных материалов до 1980 г., а в 1980–1985 гг. осуществлял научное руководство этими подразделениями.

Первые работы учёного в области химии полимеров были связаны с синтезом полиформальдегида. Позже он вместе с сотрудниками своей лаборатории занялся фундаментальными проблемами ионной полимеризации альдегидов и гетероциклических соединений. В 1959 г. вышла первая монография Н.С. Ениколопова в соавторстве с А.Б. Налбандяном “Формальдегид — материал для пластмасс” [5]. В 1961 г. Ениколопов впервые высказал мысль о принципиальной возможности реакции передачи цепи через полимер при полимеризации формальдегида, что привело к открытию реакции межцепного обмена в процессах образования гетероцепных полимеров. Серия публикаций результатов научных работ Николая Сергеевича и его сотрудников в этой области началась в 1962 г. со статьи, посвящённой механизму инициирования деструкции гетероцепных полимеров. Труды по синтезу термостабильных полимеров формальдегида были обобщены в совместной с С.А. Вольфсоном монографии “Химия и технология полиформальдегида” (1968) [6].

Дальнейшие исследования кинетики и механизма катионной полимеризации формальдегида и его циклического тримера — триоксана — привели к открытию реакции передачи цепи через полимер с разрывом макромолекулы (ПЦР). В настоящее время установлено, что она характерна для полимеризации гетероциклических соединений (независимо от механизма полимеризации) и способность к ней определяется строением макромолекулы и типом активного центра. Реакция ПЦР является, по сути, ещё одной стадией (наряду с зарождением, ростом и передачей цепи) в процессах образования макромолекул. Этот цикл исследований обобщён в монографии в соавторстве с Б.А. Розенбергом и В.И. Иржаком “Межцепной обмен в полимерах” (1975).

Возможности практического применения реакций межцепного обмена для синтеза и химической модификации полимеров были оценены достаточно быстро. Наиболее перспективным оказалось использование таких реакций для синтеза статистических блок- и привитых сополимеров, а также полимеров с заданными концевыми функциональными группами. Полученные Н.С. Ениколоповым результаты в области синтеза термостабильных полимеров и сополимеров ацетальной структуры легли в основу технологических процессов производства группы инженерных пластиков — полиацеталей — на Кусковском химическом заводе, Ангарском химкомбинате и Нижнетагильском химическом заводе. Эти работы были отмечены специальной премией Совета министров СССР (1965). Результаты исследований Николая Сергеевича и его сотрудников в ИХФ АН СССР и других научных центрах, полученные около 30 лет назад, до сих пор сохраняют свою актуальность и цитируются в научной литературе. Они обобщены в монографии (в соавторстве с А.А. Берлиным и С.А. Вольфсоном) “Кинетика полимеризационных процессов” (1978).

Н.С. Ениколопов всегда считал, что благодаря глубокому изучению кинетики и макрокинетики реакций полимеризации может быть значительно улучшен промышленный синтез полимеров или разработаны принципиально новые реакторы. Когда стали доступны ЭВМ и методы гель-хроматографического анализа молекулярно-массовых распределений полимеров, появились новые возможности использования кинетических методов для оптимизации технологических процессов. В частности, была проведена оптимизация режимов получения блочного и ударопрочного полистирола. Кинетический анализ, определение констант скоростей на всех стадиях, вплоть до очень глубоких, позволили значительно интенсифицировать реальный промышленный процесс. Расчёты оптимальных режимов синтеза полистирола были апробированы на промышленных установках Кусковского химзавода. Удалось увеличить производительность в 2–4 раза при улучшении качества полистирола за счёт суже-

ния молекулярно-массового распределения. Стало очевидным, что эти подходы эффективны и могут быть успешно внедрены на родственных производствах, например, при синтезе полиэтилена при высоких давлениях.

Николай Сергеевич принимал активное участие в разработке теории быстрых химических процессов и реакторов для них. Показано, что управление режимами турбулентного перемешивания реагентов позволяет оптимизировать конструкцию трубчатых аппаратов для проведения реакций в непрерывных условиях. Этот подход оказался весьма эффективным: объёмы реакторов удалось снизить в тысячи раз при сохранении их производительности и улучшении качества продуктов. Новые реакторы были внедрены в производство олигомеров и полимеров изобутилена, высших  $\alpha$ -олефинов, синтетических каучуков, дихлорэтана и хлористого этила и пр. Принципы создания “турбулентных реакторов” на основе кинетических и макрокинетических исследований соответствующих реакций были изложены в совместной с С.А. Вольфсоном монографии “Расчёты высокоэффективных полимеризационных процессов” (1980).

Параллельно Н.С. Ениколопов начал большой цикл работ по полимеризации в экстремальных условиях, в частности, на наковальнях Бриджмена под действием высокого давления и сдвиговых деформаций. В 1966 г. было установлено, что твёрдые мономеры и их смеси, практически не реагирующие при давлениях в десятки тысяч атмосфер, полимеризуются, если они в сжатом состоянии подвергаются деформации сдвига. Результаты исследований в этом новом направлении стали основой зарегистрированного 29 марта 1984 г. открытия “Закономерность твердофазной полимеризации органических веществ (мономеров) в условиях сдвига и высокого давления”. Соавторами открытия стали доктор химических наук А.А. Жаров, в то время научный сотрудник ИХФ АН СССР, и студент-дипломник Московского физико-технического института (МФТИ) В.М. Капустян. Впоследствии сформировалось новое научное направление — химия деформационных процессов.

Николая Сергеевича всегда интересовала возможность проведения твердофазных химических реакций. В частности, он полагал, что экологическая ситуация в недалёком будущем заставит отказаться от технологий, основанных на традиционном жидкофазном процессе (в растворах, эмульсиях, суспензиях и т.д.), поскольку они сильно загрязняли окружающую среду. После открытия явления полимеризации в условиях сдвиговых деформаций и высоких давлений было осуществлено большое количество твердофазных химических реакций при разных способах воздействия на реакционную смесь в аппаратуре типа наковален Бриджмена, вибромельницах, при модифицированной экструзии, ре-

ологическом взрыве. Это дало основания для разработки принципиально новых методов органического синтеза в твёрдой фазе, позволяющих в перспективе перейти к экологически чистым, ресурсосберегающим технологиям. Воздействиям подверглись полимеры, органические и неорганические вещества, их смеси, что помогло накопить обширный экспериментальный материал. Исследования проводились несколькими группами учёных под руководством Ениколопова в ИХФ АН СССР и в созданном им в 1981 г. Институте синтетических полимерных материалов АН СССР (ИСПМ АН СССР). Благодаря Николаю Сергеевичу найдены методы твердофазного получения таких лекарственных препаратов, как соли сурьмин, моноуреид малеиновой кислоты, растворимые формы лекарств, например, натриевой соли ацетилсалициловой кислоты.

Под руководством Н.С. Ениколопова разработан способ производства древесноволокнистых плит, в котором вредные для человеческого организма фенолформальдегидные связующие были заменены на безопасные, получаемые по твердофазным технологиям. Со временем всё большее внимание учёного стали привлекать композиционные полимерные материалы. Верный своему подходу, он одновременно с решением практических задач стал развивать фундаментальные основы материаловедения композиций. Почти все его ученики переключились на это новое направление. Задача создания композиционных материалов, устойчивых к многообразным внешним воздействиям (сжатие, растяжение, сдвиг, ударные нагрузки и др.), решалась в связи с разработкой крупногабаритных конструкций для подводных аппаратов при участии ряда научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро. Не следует забывать, что к материалам предъявлялись комплексные требования, которые следовало соблюсти, причём в жёсткие сроки.

Размах проводимых работ был чрезвычайно широк, а теоретические и технологические решения оказали существенное влияние на развитие полимерной науки в нашей стране и за рубежом. Хорошо известная в мире научная школа академика Ениколопова воспитала многих учеников и последователей, нередко из числа тех, кто пришёл в его лабораторию со студенческой скамьи. Под его научным руководством защищено более 50 докторских и 200 кандидатских диссертаций. Многие его подопечные в настоящее время возглавляют научные центры, новые направления и научно-исследовательские подразделения в ИХФ РАН, ИСПМ РАН, вузах и других научных учреждениях России и стран СНГ.

Здесь уместно немного отвлечься от научной биографии Ениколопова и коротко рассказать о стиле его работы в ИХФ АН СССР с середины 1970-х до середины 1980-х годов. Его кабинет в корпусе 5а был маленьким, а перед ним располагалась небольшая приёмная (предбанник), в которой всегда

что-то печатала его бессменная помощница Раиса Васильевна. До появления Ениколопова все были чем-то заняты, но в отделе стояла тишина. Вдруг появлялся стремительный Николай Сергеевич, врвался в свой кабинет, закуривал неперенную сигарету, брал телефонную трубку, набирал номер, разговаривал. Тут же просил пригласить нескольких сотрудников, давал помощнице задание — и работа кипела. Будто включили мотор, и все начинали трудиться намного быстрее и веселее. Так же было потом и в ИСПМ АН СССР. Только кабинет был большой, и за длинным Т-образным столом целый день сменялись сотрудники, а в конце стола, у доски — Николай Сергеевич с сигаретой в одной руке и куском мела в другой. До позднего вечера продолжались жаркие дискуссии, например, о не-тепловом механизме химических превращений при упруго-деформационном измельчении.

За цикл работ “Обнаружение и исследование аномально быстрой полимеризации в твёрдой фазе” Н.С. Еникоплову, В.И. Гольданскому, В.А. Кабанову и А.Д. Абкину была присуждена Ленинская премия 1980 г. как свидетельство высших научных достижений. Высокой оценки заслужил цикл его многолетних работ “Кинетика и механизм образования, деструкции и стабилизации кислородсодержащих гетероцепных полимеров”, за который в 1984 г. Ениколопову присудили премию им. В.А. Каргина. В том же году ему присвоили звание “Почётный химик”.

**Научно-организационная деятельность.** С 1960 г. Н.С. Еникоплов занимал должность заместителя главного химика по проблеме “Производство полимеров на основе полиформальдегида, поликарбонатов и других полимеров” Минхимпрома, был председателем трёх научно-технических советов, научным руководителем двух программ Государственного комитета Совета министров СССР по науке и технике (ГКНТ СССР), объединявших работы десятков научных центров страны. Николай Сергеевич был избран членом-корреспондентом АН СССР по отделению общей и технической химии в 1966 г., а в 1976 — действительным членом АН СССР. Как и положено академику, он занялся научно-организационной деятельностью, масштабы которой со временем стали огромными. В 1978 г. его назначили председателем Научного совета ГКНТ СССР “Полимерные материалы в народном хозяйстве”, и почти одновременно — научным руководителем НПО “Норпласт”, а также председателем Научного совета по синтетическим полимерным материалам при Президиуме АН СССР. В 1980 г. он стал руководителем крупной научно-технической программы по разработке технологии и освоению промышленного производства высоконаполненных и функциональных композиционных материалов.

В начале 1980-х годов Николай Сергеевич был признан одним из лидеров в своей области в научном мире. Его назначили председателем бюро Про-



Лауреаты Ленинской премии 1980 г.

Слева направо: А.Д. Абкин, Н.С. Еникоплов, В.И. Гольданский, В.А. Кабанов





С президентом АН СССР академиком А.П. Александровым, 1980 г.

блемной комиссии “Химический комплекс СССР” при АН СССР и ГКНТ СССР, заместителем председателя межведомственного Научного совета по смазочным материалам, заместителем председателя Научного совета по высокомолекулярным соединениям при Отделении общей и технической химии АН СССР, членом Государственной экспертной комиссии Госплана СССР, заместителем председателя экспертного совета Высшей аттестационной комиссии по органической химии, членом Комитета по Ленинским и Государственным премиям по науке и технике, членом Бюро Отделения общей и технической химии АН СССР. В последние годы жизни учёный был членом Государственной комиссии по конверсии оборонных предприятий. Госплан СССР назначил Н.С. Ениколопова председателем комиссии по решению судьбы залива Кара-Богаз-Гол. Ему удалось провести историческое решение о ликвидации перемычки, неразумно отделявшей залив от Каспийского моря. Таким образом была предотвращена гигантская экологическая катастрофа в регионе Каспия и спасён уникальный природный объект.

Одной из целей Н.С. Ениколопова было создание Инженерного центра композиционных материалов, в котором учёные Академии наук могли бы работать вместе с инженерами, технологами и конструкторами над всеми научными и техническими вопросами получения, переработки и использования композитов. На подготовку специального постановления Правительства по этой проблеме ушло два года. Так в 1980 г. на базе Кусковского химзавода, отдела Научно-исследовательского института полимерных материалов и группы сотрудников ИХФ АН СССР было организовано НПО “Норпласт”. Будучи научным руководителем, Николай Сергеевич занимался широким кругом организационных вопросов.

Новый инженерный центр имел межотраслевое значение и, естественно, не вписывался в монопольные структуры народного хозяйства, затрагивая интересы Минхимпрома, Миннефтехимпрома, Министерства минерального сырья и т.д. Детище Ениколопова явно опередило своё время. В 1986 г. “Норпласт” был расформирован, однако за время его существования в сферу композитов включились более 200 организаций. Была проделана огромная работа по созданию новых технологий, включая полимеризационное и активационное наполнение полимеров, упруго-деформационное измельчение и переработку полимерных отходов. Получен ряд новых композиционных материалов, в том числе с использованием наполнителей, обладавших электропроводящими свойствами, а также пьезо- и фоточувствительных материалов. Достаточно сказать, что руководители четырёх министерств обратились в Минхимпром с просьбой ускорить налаживание производства материала “компанор”, созданного в НПО “Норпласт”.

**Институт синтетических полимерных материалов.** После закрытия научно-производственного объединения “Норпласт” Н.С. Ениколопов сосредоточил своё внимание на организации Института синтетических полимерных материалов. С 1978 по 1985 г. он уделял много внимания завершению строительства лабораторного и административного корпусов. В этот же период под его руководством начали формироваться будущие лаборатории на базе научных групп из Института химической физики АН СССР, Института элементоорганических соединений АН СССР, Государственного научно-исследовательского института химии и технологии элементоорганических соединений, которые пополнялись выпускниками Московского физико-технического института, Московского государственного универ-

ситета имени М.В. Ломоносова, Московского химико-технологического института и других вузов. В марте 1985 г. Николая Сергеевича назначили директором ИСПМ АН СССР, а уже к концу 1986 г. все сотрудники разместились в здании на Профсоюзной, 70.

За короткий период была налажена деятельность первых четырёх лабораторий: синтеза неорганических полимеров с повышенной теплостойкостью, физико-химических исследований теплостойких полимеров, горения полимерных материалов, а также возглавляемой Ениколоповым лабораторией механизма разрушения полимерных систем. В 1986 г. создана лаборатория электрофизических свойств полимеров и композитов, ориентированная на разработку новых полимерных материалов с высокими электрическими и магнитными потерями в СВЧ-диапазоне электромагнитных волн. Николай Сергеевич ввиду своей занятости уже не мог ежедневно участвовать в работе этих научных подразделений, но определял главные направления их деятельности. Его научные интересы были в основном сконцентрированы на твердофазных химических реакциях, измельчении и разработке механохимических методов получения полимерных материалов, модификации полимеров и других веществ методом упруго-деформационных воздействий.

Особую роль играли исследования, проводимые под непосредственным руководством Ениколопова и связанные с созданием ракетно-космической техники: разработка полиимидных плёнок, бисмалеимидных связующих, полиорганосилоксанов, карбосиланов и поликарбосиланов — важнейших керамообразующих олигомеров для создания компонентов высокотемпературных (до 1200°C) окислительностойких керамических композиционных материалов конструкционного назначения, которые применялись для изготовления ответственных деталей, узлов ракет-носителей космических аппаратов, изделий авиационной и военной техники. Фторсодержащие силоксановые жидкости, полученные учёными ИСПМ АН СССР, до сих пор используются в качестве жидких смазок, пеногасителей в органических средах и основах для приборных масел, электроконтактных смазок электрических машин, которые работают в условиях пониженного давления (в узлах и агрегатах космических аппаратов), а также в изделиях современной военной и специальной техники. В 1998 г. решением Президиума РАН институту было присвоено имя Н.С. Ениколопова.

**Педагогическая и международная деятельность.** Н.С. Ениколопов состоял в том числе как педагог. В 1953 г. он стал ассистентом кафедры химической кинетики и горения в МФТИ. В 1961—1970 гг. занимал должность профессора той же кафедры, а в 1970—1982 гг. — профессора кафедры молекулярной и химической физики. Новая кафедра физики

высокопрочных полимерных систем была основана им в 1982 г., он заведовал ею до конца жизни. К настоящему времени кафедра выпустила десятки специалистов, успешно работающих в крупных научно-исследовательских центрах России и за рубежом.

Заслуживает внимания международная экологическая деятельность Николая Сергеевича в рамках Пагуошского движения учёных за мир и разоружение. Начиная с 1978 г. он принимал участие в работе подготовительных комитетов, заседаний рабочих групп и комиссий, выступал с докладами на Пагуошских конференциях. Он избирался членом правления и заместителем председателя Советского фонда мира, членом консультативного совета Международной ассоциации фондов мира (МАФМ), а также заместителем председателя экологической комиссии МАФМ. Его заслуги отмечены международной премией Всемирной лаборатории и Международного общества по разоружению “Золотой Волк”, а также золотой медалью Советского фонда мира. В 1989 г. он участвовал в международной конференции во Франции, посвящённой годовщине землетрясения в Армении, а также первого Всемирного конгресса инженеров и учёных армянского происхождения, прошедшего в том же году в США.

Н.С. Ениколопов — автор двух научных открытий, более 1000 научных работ, авторских свидетельств и зарубежных патентов. Его перу принадлежат 9 монографий по фундаментальным проблемам физикохимии полимеров и композиционных материалов [7—11]. В течение многих лет он состоял в редколлегиях журналов “Высокомолекулярные соединения”, “Химическая физика”, “Трение и износ”. Он много внимания уделял развитию международных научных связей. Стремясь заложить основы сотрудничества учёных разных стран, он участвовал во многих научных конференциях, симпозиумах, выставках, встречах, выступал с проблемными докладами. Его научный авторитет был весьма высок как среди коллег, занимавшихся фундаментальными исследованиями, так и среди представителей фирм, решавших конкретные научно-технические задачи. Благодаря этому в последние годы его жизни установились деловые контакты между ИСПМ АН СССР/РАН и Чалмерским технологическим университетом (Швеция), фирмами “Берсторфф” и “Пурги” (Германия). Труды Ениколопова получили широкое международное признание: он был избран членом Нью-Йоркской академии наук, а также в течение многих лет состоял в редколлегиях иностранных журналов “Journal of Applied Polymer Science”, “Polymer Composites”, “International Journal of Applied Electromagnetics in Materials” и др.

Постоянно проживая в Москве, Николай Сергеевич не прерывал творческих и дружеских связей со своей исторической Родиной — Нагорным Карабахом. Будучи страстным защитником окружающей



среды, он пытался предостеречь молодое правительство Армении и партию “зелёных” от поспешного закрытия отечественных предприятий — основы национальной промышленности. Он много сделал для развития химической науки и промышленности Армении и считал, что она исторически связана с Россией и ни при каких обстоятельствах нельзя разрывать эти связи. Подготовленные им учёные возглавили научные центры, кафедры и лаборатории в вузах Армении. Ениколопов регулярно выезжал для чтения лекций в учреждениях АН/НАН Армении, а также в образовательных и научно-исследовательских институтах Еревана. В 1971 г. по его инициативе в Институте химической физики в Ереване был создан сектор по самораспространяющемуся высокотемпературному синтезу, известный своими оригинальными исследованиями в области синтеза гидридов.

Указом Президиума Верховного совета СССР от 2 апреля 1974 г. за заслуги в развитии химической науки и в связи с 50-летием со дня рождения Н.С. Ениколопов был награждён орденом “Знак Почёта”, а в 1981 г. — орденом Ленина. Указом Президента СССР от 30 декабря 1990 г. (закрытом) за заслуги в создании и проведении испытаний многогоразовой космической системы “Энергия—Буран” учёный был награждён орденом Дружбы народов.

**Воспоминания коллег и друзей.** Академик В.А. Кабанов: “Проходит время, но многие идеи и результаты, полученные Ениколоповым, не только уходят в историю науки, но и обретают новую жизнь, становятся более современными и востребованными. Он был одним из первых крупных физикохимиков, осознавших важность решения планетарных экологических проблем. В нём органически сочеталась любовь к Армении и России. Он был истинным учёным и гражданином” [12, с. 10].

Академик А.А. Берлин: “Николай Сергеевич обладал исключительно глубоким умом и потрясающей научной интуицией. Именно это позволяло ему видеть в любом, даже давно известном факте нечто новое, то, что другие не видели и ещё долго не увидят. Осталось много благодарных ему людей, которые всегда будут его помнить и передавать память о нём следующим поколениям” [1, с. 173].

Академик А.Г. Мержанов: «Мне нравилось тёплое отношение Николая Сергеевича к семье. Всегда трогательно относился он к Мадлен Григорьевне. Он как-то сказал мне: “Учёный, чтобы продлить жизнь в науке, должен сменить либо тематику, либо жену. Я сменил тематику. А многие меняют жён. А некоторые нахалы делают и то, и другое”» [1, с. 177].

Профессор Политехнического института (Нью-Йорк, США) Ш. Атлас: “Профессор Ениколопов был настоящим гигантом среди учёных-полимерщиков всего мира. Его работы и научные достижения хорошо известны, многие коллеги засвиде-



Мемориальная доска на здании Ереванского политехнического института

Перевод: “Национальный политехнический университет Армении: Академик АН СССР Николай Саргси Ениколопян (лауреат Ленинской и Государственной премий), в 1940–1945 гг. учился и окончил химико-технологический факультет Ереванского политехнического института”

тельствуют фундаментальное значение его работ. Нашему другу была характерна человечность и доброты. Профессор Николай Сергеевич Ениколопов — Человек на все времена” [1, с. 273].

**В кругу семьи.** Николай Сергеевич был женат на Мадлен Григорьевне Ширмазан (1922–2010). Она была кандидатом химических наук, доцентом, учёным секретарём Московской академии тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова. Старший сын — Сергей Николаевич (родился 30 августа 1948 г. в Ереване) — известный российский психолог, кандидат психологических наук, руководитель отдела медицинской психологии “Научного центра психического здоровья”, доцент кафедры нейро- и патопсихологии факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой криминальной психологии факультета юридической психологии Московского государственного психолого-педагогического университета.

Младший сын — Григорий Николаевич (родился в 1952 г. в Ереване) — крупный российский и американский учёный-нейробиолог, кандидат биологических наук, профессор и участник программ по нейробиологии, генетике и молекулярной биологии, фармакологии Университета Стони-Брук (США), основатель лаборатории стволовых клеток мозга



МФТИ, руководитель группы в лаборатории Колд Спринг Харбор (США). Его исследования развития мозга привели к ряду значимых открытий.

Николай Сергеевич очень увлекался нардами и был сильным игроком. Зачастую научные обсуждения в домашних условиях заканчивались сражениями за доской. На вопрос, какие черты он больше всего ценит в своих сотрудниках, учениках, и какие качества хотел бы им привить, он ответил: “Увлечённость и здоровое честолюбие. Девяносто процентов моих сотрудников работают не для того, чтобы получить деньги, степени. Мы, конечно, не бесребреники — живём ведь в реальном мире, где в магазинах расплачиваются купюрами, а не научными идеями. Но не жизненные блага — движущая сила, а увлечённость работой, проблемой. Надо понять, почему природа устроила так, а не иначе. А поняв, попытаться придумать, как это можно использовать на благо всех людей”.

Как-то Ениколопова спросили, за что он любит химию. “Это трудно выразить словами, — ответил он. — Так же трудно, как сказать, за что любишь жену, с которой прошла вся жизнь. Вначале увлечение, страсть, которая не рассуждает, а потом приходит более прочное, глубокое чувство, несмотря на то что ты уже детально знаешь все достоинства и недостатки. Если пользоваться семейной аналогией, то химия — это прежде всего прекрасная домохозяйка. Я люблю химию не за её высокую научность, а за поистине гигантскую практическую ценность для человечества. Ведь химия сейчас проникла во все области человеческой деятельности. И когда видишь, какие дела под силу твоей науке, видишь её могущество, огромную пользу для людей, — разве можно не любить её?”

Выдающийся учёный в области физической химии полимеров, организатор науки и общественный деятель Николай Сергеевич Ениколопов скоропостижно скончался 22 января 1993 г. в Гейдельберге (Германия), в дни совместных работ с фирмой “Берсторфф”. Похоронен на Новодевичьем кладбище.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ениколопов Н.С. (1999) Избранные труды. Воспоминания. Черногоровка: Изд-во ИСМАН.  
*Enikolopov N.S. (1999) Selected works. Memories. Chernogolovka: ISMAN. (In Russ.)*
2. Николай Сергеевич Ениколопов, 1924–1993 / Сост. Л.А. Калашникова, Н.Б. Полякова. М.: Наука, 1994.  
*Nikolay Sergeevich Enikolopov, 1924–1993 / Comp. L.A. Kalashnikova, N.B. Polyakova. Moscow: Nauka, 1994. (In Russ.)*
3. Maeda H. (2019) Lives of the Enikolopians: Multilingualism and the Religious-National Identity of a Caucasus Family in the Persianate World // *The Persianate world: rethinking a shared sphere*. Leiden, Boston: Brill.
4. Ениколопов Н.С. (1959) Кинетические особенности сложных цепных реакций окисления углеводородов // Дисс. ... доктора химических наук. М.  
*Enikolopov N.S. (1959) Kinetic features of complex chain reactions of hydrocarbon oxidation // Diss. ... Doctor of Chemical Sciences. Moscow. (In Russ.)*
5. Налбандян А.Б., Ениколопов Н.С. (1959) Формальдегид — материал для пластмасс. М.: Изд-во АН СССР.  
*Nalbandian A.B., Enikolopov N.S. (1959) Formaldehyde is a material for plastics. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. (In Russ.)*
6. Ениколопов Н.С., Вольфсон С.А. (1968) Химия и технология полиформальдегида. М.: Химия.  
*Enikolopov N.S., Wolfson S.A. (1968) Chemistry and technology of polyformaldehyde. Moscow: Chemistry. (In Russ.)*
7. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошмян В.Г., Ениколопов Н.С. (1990) Принципы создания композиционных полимерных материалов. М.: Химия.  
*Berlin A.A., Wolfson S.A., Oshmyan V.G., Enikolopov N.S. (1990) Principles of creation of composite polymer materials. Moscow: Chemistry. (In Russ.)*
8. Вольфсон С.А., Ениколопян Н.С. (1980) Расчёты высокоэффективных полимеризационных процессов. М.: Химия.  
*Wolfson S.A., Enikolopyan N.S. (1980) Calculations of highly efficient polymerization processes. Moscow: Chemistry. (In Russ.)*
9. Розенберг Б.А., Иржак В.И., Ениколопян Н.С. (1975) Межцепной обмен в полимерах. М.: Химия.  
*Rosenberg B.A., Irzhak V.I., Enikolopyan N.S. (1975) Interchain exchange in polymers. Moscow: Chemistry. (In Russ.)*
10. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ениколопян Н.С. (1978) Кинетика полимеризационных процессов. М.: Химия.  
*Berlin A.A., Wolfson S.A., Enikolopyan N.S. (1978) Kinetics of polymerization processes. Moscow: Chemistry. (In Russ.)*
11. Иржак В.И., Розенберг Б.А., Ениколопян Н.С. (1979) Сетчатые полимеры: Синтез, структура, свойства. М.: Наука.  
*Irzhak V.I., Rosenberg B.A., Enikolopyan N.S. (1979) Mesh polymers: Synthesis, structure, properties. Moscow: Nauka. (In Russ.)*
12. Хачиян Г.А. (2022) Ениколопов. Химический эксперт. № 4. С. 4–11.  
*Khachiyani G.A. (2022) Enikolopov. Chemical expert, no. 4, pp. 4–11. (In Russ.)*

**A MAN FOR ALL TIMES**  
**TO THE 100<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF THE BIRTH**  
**OF ACADEMICIAN N.S. ENIKOLOPOV**

**V.G. Shevchenko<sup>a,\*</sup>**

*<sup>a</sup>Enikolopov Institute of Synthetic Polymeric Materials, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*\*E-mail: shev@ispm.ru*

In 2024, the 100th anniversary of the birth of the outstanding physical chemist of the XX century, Academician N.S. Enikolopov, is celebrated. The scientist had a great thirst and love for science, was a talented researcher, organizer and teacher. Its scientific school has nurtured many scientists. It is difficult to overestimate his contribution to the development of chemical science and the polymer industry. Among the most notable achievements of Nikolai Sergeevich are the detection and investigation of abnormally fast polymerization in the solid phase, the discovery of the interchain exchange reaction in the formation of heterochain polymers, etc.

*Keywords:* N.S. Enikolopov, chemical physics, polymer chemistry, solid-phase polymerization, broken chain transfer, polyformaldehyde, polymer composites.

---

---

РАЗМЫШЛЕНИЯ НАД НОВОЙ КНИГОЙ

---

---

## О ПОЛЕЗНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ К ОПЫТУ ОРГАНИЗАЦИИ ВАРШАВСКОГО ДОГОВОРА<sup>1</sup>

© 2024 г. Ф.О. Трунов<sup>а,\*</sup>

<sup>а</sup>Институт научной информации по общественным наукам РАН, Москва, Россия

\*E-mail: Itrunov@mail.ru

Поступила в редакцию 23.01.2024 г.

После доработки 21.03.2024 г.

Принята к публикации 10.04.2024 г.

В начале 2020-х годов стало очевидным формирование нового миропорядка. Параллельно развиваются два масштабных процесса. Один из них — частичное реформатирование связей внутри лагеря западных демократий, другой — зарождение общности ряда государств вне Запада. Возникновение этой общности предполагает заметное усиление сотрудничества по линии вооружённых сил между заинтересованными игроками. И здесь появляется необходимость использовать опыт функционирования профильных структур без участия стран Запада.

Изучение опыта позволяет учесть ряд доказавших свою результативность и полезность схем сотрудничества, прежде всего наработанные под эгидой Организации Варшавского договора. Их осмысление становится особенно востребованным в условиях заметного ужесточения подхода Запада к сдерживанию оппонентов — России, Китая, Ирана.

В статье указывается на ограниченное внимание к ОВД отечественной историографии и политологии, несмотря на явную ценность опыта функционирования этой организации. Автор отмечает, что существенную часть лакун в изучении стратегии и практики ОВД позволяет заполнить фундаментальный труд «Организация Варшавского договора. 1955–1991. История. Стратегия. Политика», подготовленный авторским коллективом под руководством В.А. Золотарёва.

**Ключевые слова:** ОВД, НАТО, стратегическая культура, объединённые вооружённые силы, конфронтация, миропорядок.

**DOI:** 10.31857/S0869587324040081, **EDN:** GELWIZ

Современный этап изменений на международной арене — время формирования нового миропорядка. Происходит активный, чувствительный для стран и международных институтов поиск его контуров. Параллельно с коллективным Западом, который уже давно сформировался как общность, намечилось возникновение как минимум ещё одного альянса, который пока не получил названия. Дефиниции типа «не-Запад», «коллективное большинство» [1] ещё окончательно не сложились, базовый состав государств определён лишь частично. Тем более не прояснены на практике возможности внутренней консолидации данного сообщества.

Традиционно считается, что наиболее сложная сфера для объединения или как минимум координации усилий государств — военно-стратегическая.

В этом отношении западные демократии располагают куда большим опытом, что предопределяет интерес ведущих игроков потенциальной общности к успешным примерам интеграции и к отлаживанию национальных вооружённых сил (ВС) в контексте конкретной исторической эпохи. Поэтому к любому примеру подобного опыта желательно обращаться в его абсолютном значении или, используя терминологию философии, в очищенном виде. Это означает вычленение жизнеспособных схем сотрудничества ВС, когда составляющие, которые привнесены конкретным историческим периодом (в том числе идеологические), выводятся за скобки. Для государств вне коллективного Запада примером наиболее продвинутой интеграции вооружённых сил является Организация Варшавского договора (ОВД).

---

<sup>1</sup> Организация Варшавского договора. 1955–1991. История. Стратегия. Политика / Коллектив авторов. М.: Аквариус, 2023. 576 с.

---

ТРУНОВ Филипп Олегович — кандидат политических наук, ведущий научный сотрудник ИНИОН РАН.



В современной отечественной и в ещё меньшей мере западной литературе вопросам функционирования Организации Варшавского договора уделяется ограниченное внимание [2]. Скажем, в 2010-е — начале 2020-х годов в России практически не публиковались статьи, в которых давалась бы комплексная оценка опыта ОВД. Круг причин этого достаточно обширен, он может быть разделён на три основных сегмента.

Первый связан с фактом создания и функционирования ОВД в ходе предыдущей холодной войны: Организация Варшавского договора нередко воспринимается как её рудимент. В то же время бесспорна теснейшая связь между стратегическим соперничеством Запада и Востока и формированием ОВД, и такое соперничество не ушло в прошлое. Показательно, что вопреки ожиданиям 1990-х — начала 2010-х годов сам по себе феномен конфронтации с участием как минимум одной державы от каждой из сторон отнюдь не стал достоянием истории [3]. И хотя современное масштабное и долгосрочное нарастание напряжённости в отношениях между Евро-Атлантическим сообществом и Россией, а также Китаем, в определённой мере Ираном по многим признакам заметно отличается от холодной войны второй половины 1940-х — 1980-х годов [4], колоссальный опыт ОВД требует творческого осмысления. В изданной в 2022 г. книге видного немецкого военного практика и теоретика З. Лауча отмечается, что в конфронтации Запад—Восток ОВД превосходила НАТО в вопросах выработки и использования единой стратегической культуры для государств-членов [5, с. 84, 85].

Негативный имидж Организации Варшавского договора связан, в частности, с тем, что она была асимметричным альянсом, то есть функционировала при преобладающем вкладе и влиянии одного государства-члена — Советского Союза [6]. Однако и противостоявший блок НАТО тоже был асимметричным объединением при ведущей роли США, и такое положение во многом сохраняется [7]. По вкладу в комплектование группировок блока НАТО в Европе США занимали с середины 1960-х годов третье место (после Западной Германии и Турции), а СССР в ОВД — первое [8, с. 490]. Однако НАТО имела в своём составе, помимо лидера, несколько крупных (свыше 60 млн человек в 1970-е годы) по численности населения стран (Великобритания, Италия, Турция, ФРГ, Франция), в то время как войска ОВД присутствовали не во всех государствах-членах блока — в частности, их не было в Румынии (с 1958 г.) и Болгарии, в то время как ВС США находились в Греции и Турции [9].

В рамках НАТО уже в прошлую холодную войну, а ещё более в современных реалиях заметно переложение Соединёнными Штатами существенной части практической нагрузки (прежде всего по контингентам войск) на партнёров по блоку [10, с. 2,

3; 11, с. 1, 2]. Это во многом объясняется не только географическими особенностями, но и стратегической культурой США и Великобритании. В первую очередь имеется в виду такая её черта, как приверженность периферийным тактикам использования национальных ВС [8, с. 119]. Советский Союз следовал иной стратегической культуре: в основе лежала практическая готовность и способность нести на себе ключевую нагрузку. Данный подход окончательно сложился в Великую Отечественную войну. Красная Армия на протяжении трёх лет (с 22 июня 1941 г. по 5 июня 1944 г.) в одиночку вела исключительную по напряжённости борьбу с вермахтом и войсками сателлитов Третьего рейха. Затем, вплоть до 9 мая 1945 г., РККА продолжала нести ключевую нагрузку. Благодаря решающему вкладу СССР в разгром агрессора была выработана весьма эффективная советская стратегическая культура, которая уверенно утвердилась в качестве доминирующей в ОВД.

Вторая группа причин ограниченного внимания к Организации Варшавского договора — восприятие её самороспуска весной 1991 г. как одного из символов неудачного для нас исхода холодной войны. Более того, большинство бывших государств-членов ОВД не просто стали в дальнейшем странами-участниками Североатлантического альянса, но входят в число самых активных сторонников сдерживания России. Искать виновных в неудачах всегда сложно. Вместе с тем едва ли узкие места в функционировании ОВД можно уверенно назвать в числе основных причин неудачи в холодной войне. Организация Варшавского договора доказала способность решать поставленные перед ней задачи с момента создания (1955) и вплоть до завершающих этапов пребывания у власти в СССР М.С. Горбачёва (1991). Имел место выход из объединения одного из государств-членов — Албании (де-юре в 1968 г., де-факто в 1962 г.), но практически в это же время Франция (1966) прекратила членство в военных структурах НАТО. В отличие от Организации Варшавского договора, Североатлантический альянс продолжал принимать новых членов, однако основные волны расширения в период холодной войны (1952 г. — Греция и Турция, 1955 г. — Западная Германия) произошли до образования ОВД. Единственное расширение НАТО на фоне существования блока-оппонента — включение в него Испании в 1986 г. Но оно предполагало вхождение Мадрида только в политические, а не военные структуры НАТО (последнее произошло много позднее, в 1997 г.), причём Испания была стратегически ориентирована на сообщество западных демократий сразу после окончания Второй мировой войны, но самому вступлению в НАТО препятствовало сохранение в стране режима Ф. Франко.

В отличие от ОВД Североатлантический альянс после окончания холодной войны сохранился и стал трансформироваться. В 1990-е — начале 2010-х годов под эгидой НАТО были проведены многочисленные

операции вне её зоны ответственности — силовые (в 1995 и 1999 гг. в условиях распада Югославии, в 2011 г. в Ливии) и небоевые (прежде всего на Балканах и в Афганистане) [12, с. 22–28]. В то же время мощь военных сил блока и его государств-членов заметно сократилась. Так, если к 1990 г. в Центральной и Северной группах армий (ЦГА и СГА) альянса насчитывалось порядка 1 млн военных [10, с. 2], то к 2014 г. новая основная многосторонняя группировка — силы быстрого реагирования (NRF) — имела по штату 13 тыс. солдат и офицеров [13] (с учётом ротации в её комплектование на протяжённом временном отрезке были вовлечены примерно 0.1 млн военных). Фактор нарастания конфронтации с РФ обеспечил рамочные условия для резкого усиления военного потенциала альянса. В 2022 г. были декларированы параметры новой модели войск НАТО — в её подчинение передавались 0.8 млн солдат и офицеров, почти исключительно от европейских государств-членов [14]. Доктринально это сочеталось с возложением на блок нагрузки по сдерживанию не только России, но также Китая, а в перспективе и Ирана [15, с. 3–5]. Тем самым был подтверждён традиционный для НАТО статус — как структуры, сосредоточенной на её использовании в конфронтации между коллективным Западом и его оппонентами. Именно поэтому всё более востребованным становится обращение к опыту Организации Варшавского договора тех государств, которые формируют новую общность — вне лагеря либеральных демократий.

Здесь следует обозначить третью группу причин пониженного интереса к ОВД — стремление избежать сопоставлений с Организацией договора о коллективной безопасности (ОДКБ). К последней считается в принципе неприменимым понятие “блок”. Существенные различия между ОВД и ОДКБ, особенно идеологического (ценностно-информационного) характера, очевидны. Первая возникла в условиях конфронтации, вторая — в эпоху, когда данный феномен считался достоянием прошлого. Однако сейчас противостояние в полной мере вернулось в международную практику, и без полноценного учёта фактора конфронтации во внутренних преобразованиях ОДКБ заметно повысить её эффективность сложно. А это весьма актуально, учитывая полноту использования потенциала организации в условиях вынужденной СВО. Намечившаяся к 2024 г. логика формирования нового миропорядка обуславливает потребность в заметном увеличении нагрузки на ОДКБ, а главное — её роли на международной арене. Поэтому обращение к ряду практик ОВД в их “очищенном” виде для ОДКБ становится насущной потребностью. Тем более что при всей внешней несхожести эти объединения сближает тот факт, что ОВД функционировала в регионе, который был ключевым для СССР (Центральная и Восточная Европа), а ОДКБ — для России (на постсоветском пространстве).

Если использование эгиды ОВД в Чехословакии (1968) отечественные эксперты оценивают в целом критически [6], то в Венгрии в 1956 г. — во многом иначе. В ходе операции “Вихрь” войска СССР и других государств-членов ОВД боролись прежде всего с радикальными элементами, особенно из числа бывших фашистов-салашистов [16, с. 46–58]. Соответственно, применение войск ОВД в этом случае следует трактовать как оборонительное и нацеленное на восстановление конституционных порядков и демократии. То же можно сказать о небоевом, в отличие от 1956 г., использовании потенциала ОДКБ в ходе событий в Казахстане в январе 2022 г. [17]. Коллективные силы оперативного реагирования (КСОР) организации, ядро которых составили войсковые формирования РФ, сумели в кратчайшие сроки предотвратить переход Казахстана в состояние нестабильности. По сути, в обоих случаях (1956 и 2022 гг.) речь шла о противодействии неклассическим угрозам безопасности, то есть, когда оппонентом выступало не государство (оно, напротив, требовало спасения, обеспечения мира и правопорядка), а радикальные группировки на его территории. На практике наделение структуры достаточным потенциалом для борьбы одновременно с неклассическими и классическими угрозами безопасности — трудная задача.

Так, в середине 2010-х — начале 2020-х годов НАТО располагала огромной дополнительной мощью для борьбы с классическими рисками, но при этом в существенной степени утратила способность противодействовать неклассическим вызовам. Показательны в этой связи экстренный вывод миссии альянса из Афганистана (2021) [18], поиск путей наделения ЕС возможностями по борьбе с угрозами нестабильности, особенно на тех направлениях, где не была задействована НАТО [19, с. 137–142].

Усиление активности и влияния ОДКБ на международной арене неизбежно потребует совершенствования войсковых инструментов в её распоряжении — прежде всего коллективных сил оперативного реагирования (КСОР) и коллективных сил быстрого развёртывания (КСБР). Здесь может быть полезен опыт по достижению полной тактической совместности соединений и частей разных государств-членов ОВД в рамках её объединённых вооружённых сил (ОВС).

Существенную часть лакун в изучении ОВД заполняет фундаментальный труд коллектива автора под руководства В.А. Золотарёва “Организация Варшавского договора. 1955–1991. История. Политика. Стратегия”. В.А. Золотарёв — военный историк, генерал-майор в отставке, видный исследователь военно-теоретических [20] и практических вопросов истории нашего Отечества, особенно Великой Отечественной войны и холодной войны [21]. Отталкиваясь от огромной совокупности фактов, тщательно подобранных, авторы монографии приходят к глубо-

ко обоснованным умозаключениям, стремясь к полной объективности. И они оказались очень близки к этой, казалось бы, недостижимой цели. Ни острота положения дел в экономике СССР с конца 1970-х годов, ни жёсткие планы США по применению оружия массового уничтожения против СССР (особенно в период до Карибского кризиса и осознания эффекта “ядерной зимы” в 1970-е годы) не затухивают, предстают в истинном свете. Например, показано, что гонка вооружений в 1980-е годы вынуждала руководство страны тратить 72 копейки из каждого бюджетного рубля на военные нужды [8, с. 446].

Абсолютизируя возможности сугубо воздушной войны, Белый дом, как известно, в конце 1940-х — 1950-е годы считал допустимым потенциальное разрушение десятков крупных городов в СССР, гибель или необратимое ухудшение здоровья десятков миллионов мирных советских граждан [8, с. 110—114]. При этом якобы существовавшая советская угроза была предельно гиперболизирована как постоянный информационный повод. Государства-члены НАТО преувеличивали значение преимущества СССР и его союзников по социалистическому лагерю по мощи конвенциональных войск в Европе. При этом замалчивался факт резкого сокращения Красной (Советской) Армии в 1945—1948 гг. на фоне демобилизации (наиболее масштабное в истории — на 8,5 млн человек [8, с. 119]), её последующих неоднократных сокращений: в 1955—1958 гг. ВС СССР после некоторого роста вновь были уменьшены на 2 140 тыс. солдат, офицеров и генералов; в их рядах осталось 3 623 тыс. военных [8, с. 189]. Одновременно, что не менее важно, шла ускоренная ремилитаризация ФРГ. Так, в 1980-е годы в Центральной Европе — на наиболее стратегически важном направлении — группировки ОВС НАТО и ОВД сравнивались по численности личного состава — около 1 млн военнослужащих каждая. Показательно, что удельный вклад сухопутных войск и ВВС СССР и ФРГ был практически одинаков: 445 и 444 тыс. военнослужащих на 1 августа 1980 г. соответственно [8, с. 490].

Подчёркивая риски, которые были связаны с мощью конвенциональных (неядерных) сил СССР, государства-члены НАТО игнорировали два важнейших своих преимущества. Во-первых, это огромное на первых этапах холодной войны (особенно до середины 1960-х годов), сокращавшееся медленно (до второй половины 1970-х годов) превосходство США над СССР по числу ядерных боезарядов и их носителей [8, с. 442]. Во-вторых, это инициирование именно Западом самой холодной войны, а также большинства наиболее чувствительных её эпизодов. Ведь создание Организации Варшавского договора стало вынужденной реакцией на вступление ФРГ в НАТО, что означало старт масштабной ремилитаризации Западной Германии под контролем и при поддержке США, Великобритании и Франции [8, с. 189—191]. Учёт данных принципиальных положений позволяет оценивать действия СССР

и стран социалистического содружества как вынужденные симметричные и ассиметричные ответы на активизацию государств-членов НАТО.

Фундаментальный труд коллектива авторов под руководством В.А. Золотарёва выстроен по хронологическо-проблемному принципу. Функционирование ОВД вписано в международный политический контекст, на фоне сопоставления развития этого объединения с Североатлантическим альянсом. Особо следует отметить два раздела: “Объединённые вооружённые силы Варшавского договора. Хронология событий” и “Правовое регулирование строительства вооружённых сил государств-членов”. В первом разделе, которым открывается труд, показывается частота и содержание переговорной повестки, другие особенности совещаний Политического консультативного комитета (с 1956 г.) и Военного совета ОВС (с 1969 г.) и Комитета министров обороны (с 1969 г.) [8, с. 15—57]. Параллельно можно проследить основные схемы, которые позволяют отлаживать тактическую совместимость конкретных национальных вооружённых сил в ходе совместных учений. Ключевое значение имело взаимодействие Советской Армии и Национальной народной армии ГДР, иногда с участием Войска Польского. Другие направления — ВС Румынии, Болгарии и Советского Союза; двусторонняя координация Советской Армии с ВС Чехословакии, а также Венгрии [8, с. 15—57]. В той части книги, которая посвящена правовому регулированию строительства ВС, кратко, но ёмко показаны особенности создания (с завершающих этапов Великой Отечественной войны) [8, с. 223—242] и эволюции вооружённых сил государств-союзников СССР по ОВД, представлены национальные законы о военной службе и обороне [8, с. 243—354]. В результате авторам удаётся создать картину сотрудничества стран-участниц организации. Привлекают внимание читателей иллюстрации о национальных и двусторонних манёврах, биографии командующих и начальников штабов ОВС, а также изображения воинских наград. Нельзя не сказать о приложениях к книге, в которых детально характеризуются особенности функционирования таких структур ОВС, как штаб и технические органы управления главнокомандующего, объединённое командование ОВС, технический комитет [8, с. 533—562]. Авторам удалось показать вклад плеяды советских военачальников — участников Великой Отечественной войны в формирование и развитие объединённых вооружённых сил и единой для государств-членов организации стратегической культуры.

Следует признать, что фундаментальный труд “Организация Варшавского договора. 1955—1991. История. Политика. Стратегия” представляет собой объёмный и весьма значимый с практической точки зрения задел для изучения Организации Варшавского договора. Исследовательскому коллективу удалось восполнить пробел в современных исследованиях по



данной теме. Книга позволяет чётко понять, насколько велик потенциал кооперации вооружённых сил вне коллективного Запада, в условиях, когда складывается новый мировой порядок. Думаю, следовало бы подумать о более подробном освещении (вероятно, в рамках отдельной монографии) вопросов развития объединённых вооружённых сил ОВД.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Караганов С.А.* От не-Запада к мировому большинству // Россия в глобальной политике. 2022. № 5. С. 6–18. DOI: 10.31278/1810-6439-2022-20-5-6-18  
*Karaganov S.A.* From the Non-West to the World Majority // Russia in global affairs. 2022. № 5. P. 6–18. DOI: 10.31278/1810-6439-2022-20-5-6-18
2. *Бруз В.В.* Организация Варшавского договора как фактор обеспечения европейской безопасности // Военно-исторический журнал. 2010. № 5. С. 71–74.  
*Bruz V.V.* Organization of the Warsaw Treaty as a factor of ensuring European security // Military history magazine. 2010. № 5. P. 71–74.
3. *Братерский М.В.* Истоки новой холодной войны: Основные черты системного конфликта XXI века // Актуальные проблемы Европы. 2020. № 1. С. 15–31. DOI: 10.31249/ape/2020.01.01  
*Bratersky M.V.* Sources of the new Cold War: Main features of the systemic conflict in the XXI century // Current problems of Europe. 2020. № 1. P. 15–31. DOI: 10.31249/ape/2020.01.01
4. *Истомин И.А.* Назад в биполярное будущее? // Россия в глобальной политике. 2021. № 4. С. 50–61.  
*Istomin I.A.* Back to the bipolar future? // Russia in global affairs. 2021. № 4. P. 50–61.
5. *Лауч З.* Основы оперативного мышления НАТО. Тула: Аквариус, 2022.  
*Lautsch S.* Fundamentals of NATO operational thinking. Tula: Akvarius, 2022.
6. *Стыкалин А.С.* “Доктрина ограниченного суверенитета” в восточноевропейской политике СССР и её пересмотр (1956–1989 гг.) // Новое прошлое. 2019. № 3. С. 60–79. DOI: 10.23683/2500-3224-2019-3-60-79  
*Stykalin A.S.* “The doctrine of limited sovereignty” in the East European policy of the USSR and its revision (1956–1989) // The new Past. 2019. № 3. P. 60–79. DOI: 10.23683/2500-3224-2019-3-60-79
7. *Истомин И.А.* Управление обязательствами в асимметричных альянсах // Международные процессы. 2021. № 1. С. 26–55. DOI: 10.17994/IT.2021.19.1.64.1  
*Istomin I.A.* Management of security commitments in asymmetric alliances // International trends. 2021. № 1. P. 26–55. DOI: 10.17994/IT.2021.19.1.64.1
8. *Золотарёв В.А., Путилин Б.Г., Серегин В.П., Серегин В.И.* Организация Варшавского договора. 1955–1991. История. Стратегия. Политика. М.: Аквариус, 2023.  
*Zolotarev V.A., Putilin B.G., Seregin V.P., Seregin V.I.* Organization of the Warsaw Treaty. 1955–1991. History. Strategy. Politics. Moscow: Akvarius, 2023.
9. The US military presence in Europe has been declining for 30 years – the current crisis in Ukraine may reverse that trend. 25.02.2022. <https://theconversation.com/the-us-military-presence-in-europe-has-been-declining-for-30-years-the-current-crisis-in-ukraine-may-reverse-that-trend-175595>
10. *Fleckenstein B.* Fremde Truppen im Vereinigten Deutschland – Gegenwärtige Situation und künftige Aussichten // SOWI–Arbeitspapier. 1990. № 44.
11. *Biscop S.* The New Force Model: NATO’s European Army? // Egmont Policy Brief. 2022. № 285.
12. *Алексеева Т.А., Трунов Ф.О.* Страны Запада и борьба с угрозами нестабильности в Азии и Африке: теоретико-практические аспекты // Актуальные проблемы Европы. 2022. № 1. С. 18–49. DOI: 10.31249/ape/2022.04.02  
*Alekseeva T.A., Trunov Ph.O.* Western countries and the struggle against instability in Asia and Africa: theoretical and practical aspects // Current problems of Europe. 2022. № 1. P. 18–49. DOI: 10.31249/ape/2022.04.02
13. NATO Response Force. 2024. [https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_49755.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_49755.htm)
14. New NATO Force Model. 8.07.2022. [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/220629-infographic-new-nato-force-model.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/220629-infographic-new-nato-force-model.pdf)
15. NATO 2022 strategic concept. Adopted by Heads of State and Government at the NATO Summit in Madrid 29 June 2022. Brussels: NATO HQ, 2022.
16. *Медведев Р.А.* Андропов. М.: Молодая гвардия, 2012.  
*Medvedev R.A.* Andropov. Moscow: Molodaja gvardija, 2012.
17. *Пархитко Н.П., Бисеров А.И.* События в республике Казахстан в январе 2022 г. Историко-диалектический анализ // Постсоветские исследования. 2022. № 1. С. 9–17.  
*Parkhitko N.P., Biserov A.I.* Civil unrests in Republic of Kazakhstan in January 2022. Historical and dialectical analysis // Post-Soviet Studies. 2022. № 1. P. 9–17.
18. *Новикова О.Н.* Четвёртая афганская война Великобритании // Актуальные проблемы Европы. 2022. № 4. С. 213–233. DOI: 10.31249/ape/2022.04.09  
*Novikova O.N.* Britain’s Fourth Afghan war // Current problems of Europe. 2022. № 4. P. 213–233.
19. *Сидоров А.С.* “Европейская оборона” через призыву французских интересов и возможностей //

- Актуальные проблемы Европы. 2020. № 4. С. 137–169. DOI: 10.31249/ape/2020.04.07
- Sidorov A.S.* European Defense through the prism of France's interests and capabilities // Current problems of Europe. 2020. № 4. P. 137–169. DOI: 10.31249/ape/2020.04.07
20. *Золотарёв В.А.* Необходимость теории контрв-незапности // Клио. 2022. № 1. С. 149–158. DOI: 10.51676/2070-9773\_2022\_01\_150
- Zolotarev V.A.* The need for a theory of counter-surprise // Klio. 2022. № 1. P. 149–158. DOI: 10.51676/2070-9773\_2022\_01\_150
21. *Путин Б.Г., Золотарёв В.А.* Противостояние двух сверхдержав. Т. I. М.: Институт экономических стратегий, 2014.
- Putlin B.G., Zolotarev V.A.* Confrontation between the two superpowers. V. 1. Moscow: Institute of Economic Strategies, 2014.

## ON THE USEFULNESS OF TURNING TO THE EXPERIENCE OF THE WARSAW PACT ORGANIZATION

F.O. Trunov<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Scientific Information for Social Sciences RAS, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: Itrunov@mail.ru*

At the beginning of the 2020s, the formation of a new world order became obvious. In parallel, there are two large-scale processes. One of them is a partial reformatting of connections within camps of Western democracies, the other is the emergence of a community of a number of states outside the West. The emergence of this commonality presupposes a noticeable increase in cooperation of the armed forces between interested players.

Here it becomes necessary to use experience of functioning of specialized structures without the participation of Western countries. Studying the experience allows us to take into account a number of schemes that have proved their effectiveness and usefulness, primarily developed under the auspices of the Warsaw Pact Organization. Their wasps thinking is becoming especially in demand in the context of a noticeable tightening of the Western approach to contain opponents – Russia, China, Iran.

The article points out the limited attention to the internal affairs of domestic historiography and political science, despite the obvious value of the experience of functioning of this organization. The author notes that a significant part of the gaps in the study of the strategy and practice of internal affairs can be filled by the fundamental work “Organization of the Warsaw Pact. 1955–1991. Story. Strategy. Policy”, prepared by a team of authors under the leadership of V.A. Zolotarev.

**Keywords:** ATS, NATO, strategic culture, joint armed forces, confrontation, world order.

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ ТИХООКЕАНСКОЙ РОССИИ: СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, ФАКТОРЫ, ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Под ред. академика РАН П.Я. Бакланова, доктора географических наук А.В. Мошкова.  
Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2023. 449 с.

© 2024 г. В.Л. Бабурин<sup>а,\*</sup>

<sup>а</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: vbaburin@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.02.2024 г.

После доработки 09.02.2024 г.

Принята к публикации 19.02.2024 г.

**Ключевые слова:** Тихоокеанская Россия, Дальневосточный макрорегион, пространственное развитие, территориальные социально-экономические системы.

**DOI:** 10.31857/S0869587324040097, **EDN:** GELNGK

Академик РАН Пётр Яковлевич Бакланов, ушедший из жизни в октябре 2023 г., по праву был, вне зависимости от званий и должностей, ведущим учёным в области социально-экономической географии, непревзойдённым авторитетом в сфере исследования природно-хозяйственных и технологических территориальных систем применительно прежде всего к Дальневосточному макрорегиону. Его теоретические разработки подкреплялись практическими экспедиционными исследованиями, позволявшими верифицировать антиципационные (умозрительные представления о будущем) конструкции.

С Дальним Востоком связана вся общественная и личная жизнь П.Я. Бакланова с момента окончания аспирантуры на кафедре экономической географии СССР МГУ имени М.В. Ломоносова, после которой молодой кандидат наук прибыл на работу в Тихоокеанский институт географии Дальневосточного научного центра АН СССР. Защитив позднее докторскую диссертацию и пройдя по служебной лестнице до поста директора этого института, а в последние годы научного руководителя, он воспитал плеяду талантливых исследователей, среди которых первым по праву стал его коллега и товарищ доктор географических наук А.В. Мошков.

Круг интересов П.Я. Бакланова был чрезвычайно широк, что отражает вышедшая в 2023 г. под его и А.В. Мошкова редакцией коллективная монография; в ней он предстаёт ещё и автором, присутствующим практически во всех разделах.

Сама структура этого фундаментального труда, в котором рассматриваются особенности Тихоокеанской России (термин введён в оборот П.Я. Баклановым), отражает концептуальный взгляд учёного на закономерности и формы пространственного развития. В восьми частях монографии последовательно рассмотрены теория пространственного развития макрорегиона, географические факторы трансформации пространства, геополитическая составляющая этих процессов. К числу важнейших факторов, определяющих пространственную организацию общества, авторы причисляют демографический потенциал и транспортно-коммуникационную инфраструктуру. В нескольких разделах выстроена последовательная цепочка уровней дифференциации макрорегиона, определена специфика развития регионов трёх основных типов: приморских, континентальных и приграничных. В рамках заявленного полимасштабного подхода анализируются локальные пространства, как традиционные базовые — поселения и агломерации, так и новые локальные формы — территории опережающего развития (ТОРы). В заключительной части книги авторский коллектив представляет собственное видение основных тенденций пространственного развития Тихоокеанской России, вполне разумно

БАБУРИН Вячеслав Леонидович — доктор географических наук, профессор кафедры экономической и социальной географии России географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.



не беря на себя ответственность за прогнозирование, которое представляется контрпродуктивным в условиях нарастающей турбулентности мировой экономики и политики. Этот взвешенный подход всегда отличал Бакланова как чрезвычайно требовательного к себе учёного.

Особое значение пространственных факторов для развития Российской Федерации в целом и её крупнейшего по территории Дальневосточного макрорегиона логично вытекает из масштабов страны и региона, что неизбежно сопровождается значимой географической дифференциацией и уникальным природно-ресурсным разнообразием. Формируя природно-ресурсные технологические циклы, оно во многом определяет специализацию территорий. Авторы книги подчёркивают, что проблема эта сложная и для её решения применим комплексный географический подход. Поэтому и анализ пространственного развития рассматривается Баклановым как инструмент, позволяющий с научных позиций определять направления социально-экономического развития макрорегионов и прежде всего Дальнего Востока. Это позволяет сместить центр тяжести в исследованиях от функционально-отраслевого подхода к территориальному. Основной фокус внимания сдвигается на структурные уровни и акваториальные системы как особый атрибут пространственных форм организации на Дальнем Востоке.

На протяжении всего изложения Бакланов подчёркивает, что территория Дальнего Востока должна рассматриваться как акваториальный макрорегион с включением в его природно-ресурсное пространство прилегающей морской акватории в пределах 200-мильной исключительной экономической зоны. Подобный подход не часто встречается в других исследованиях, а включение в состав региона особой экономической зоны вообще предложено впервые. Авторы, как упоминалось, вводят в оборот и новое понятие — Тихоокеанская Россия. Правда, по нашему мнению, его использование оправданно для варианта районирования, где в составе дальневосточного макрорегиона отсутствует Якутия как классическая континентальная территория, которой она остаётся даже в случае интенсивного развития Северного морского пути. Это замечание ни в коей мере не обесценивает значимость многократного обращения внимания читателей на тот факт, что для Тихоокеанской России особое значение имеет морское пространственное планирование. Для прибрежных территорий всех уровней (в иерархии локальный—региональный), по мнению авторов монографии, оно должно обеспечить выбор приоритетных и в то же время наиболее эффективных, способов освоения, ибо эти понятия не идентичны. Конечной целью подобных исследований выступает стратегия и конкретизирующие её программы перспективного использования пространственно дифференцированных ак-

вальных сегментов исключительной 200-мильной экономической зоны и шельфа России.

С учётом методологии стратегического пространственного планирования в книге настойчиво проводится мысль о необходимости разработки подобных документов на нескольких взаимосвязанных и взаимообусловленных масштабных уровнях: макрорегиональном (Тихоокеанская Россия), мезорайонном (субъекты Дальневосточного макрорегиона), микрорайонном (муниципальные районы и поселения). Особое значение в монографии придаётся именно микрорайонам. Отталкиваясь от их структуры, при формировании программ развития муниципальных районов и поселений можно применять индуктивный метод, позволяющий, в свою очередь, осуществлять построение общей теории снизу, от отдельных элементов и подсистем к макрорегиону, что обеспечивает максимальный учёт разнообразия при сохранении целостного взгляда на мезо- и макрорегион. Подобный подход оправдан, но он мог бы быть усилен применением встречного дедуктивного метода.

В методическом плане для формализации исследовательских процедур в монографии предлагается параметризация пространственных свойств и сопряжений на районном уровне в генерализованной форме, как общего пространства районов с их базовыми параметрами, границами и межрайонными связями. При этом авторы резонно замечают, что в реальном географическом пространстве отсутствуют какие-либо строго выраженные рубежи пространственного развития. Но при аналитических и оценочных работах, особенно связанных с прогнозированием, в книге предлагается, правда с некоторой степенью условности, выделение нескольких масштабных уровней пространственного развития — от локального (муниципальный район и поселения) до регионального, в масштабах всего макрорегиона. Такой подход позволяет изучать пространственные структуры с разной степенью обобщения их свойств и характеристик. Выделение, изучение и оценка особенностей пространственного развития на разномасштабных уровнях в едином географическом пространстве — стержневая идея рецензируемой монографии.

В рамках традиции комплексного подхода в географии академик П.Я. Бакланов уже в самом начале коллективного труда концентрирует внимание читателей на месте региона в стране, его экономико-географическом и геополитическом положении, на столь любимых им территориальных сочетаниях природных ресурсов, а также на факторах развития с акцентом на морское пространство. Особо он отмечает уникальность Дальнего Востока как географического объекта. Другие авторы монографии (кандидаты географических наук К.С. Ганзей, В.В. Ермошин, И.С. Арзамасцев, Н.Г. Степанько) представляют многоаспектную картину физико-

географических характеристик региона, включая его аквальный сегмент. Пристальное внимание уделяется климату, причём с учётом крайне важной именно для Дальнего Востока его пространственной дифференциации. К.С. Ганзей, один из ведущих ландшафтоведов России, даёт развернутую характеристику ландшафтной подосновы ресурсопользования и экологических ограничений, описанных Н.Г. Степанько. Всё это в совокупности позволяет авторам обеспечить комплексный географический (в том числе физико-географический) подход. Содержание раздела дополняется большим количеством картографических материалов и графиков, что существенно улучшает зрительное восприятие текста.

Традиционно Бакланов ставит в центр исследовательского интереса природно-ресурсные системы, непременно с проведением их районирования. В условиях явного ослабления в отечественной социально-экономической географии роли районной школы это представляется важным. И здесь его соавтором выступает доктор географических наук М.Т. Романов — один из ведущих специалистов страны в области районирования. Далее следуют сюжеты, в логической последовательности связанные с территориальными структурами хозяйства: подходы и методы их исследования, линейно-узловые структуры и промышленные узлы. Предлагаемый метод в книге иллюстрируется хотя и известными, но модернизированными под поставленные задачи моделями пространственных линейно-узловых систем производства (они разработаны именно П.Я. Баклановым) и их интеграцией в территориальные структуры и территориальные социально-экономические системы со структурами разного порядка.

Геополитическая составляющая и производные от неё факторы международного сотрудничества, прежде всего с Китаем, всегда были важны для Дальнего Востока, им посвящена значительная часть содержания монографии. Неслучайно этот раздел подготовлен при участии известного историка-востоковеда академика РАН В.Л. Ларина. Фундаментальное значение для понимания геополитического положения макрорегиона имеет тезис об асимметрии его геополитического положения, геополитических центрах и осях.

В прикладной части книги подробно излагается позиция авторов относительно влияния демографических и транспортных факторов пространственного развития региона как наиболее значимых для понимания его многоуровневой организации. Демографический облик Дальнего Востока с его многоцветной палитрой общих тенденций и региональных флуктуаций представлен давним соратником Бакланова, также выпускником МГУ, кандидатом экономических наук Ю.А. Авдеевым и В.Л. Ушаковой. Особенно много места уделено актуальной и специфической для макрорегиона проблеме ми-

грации и возможным вариантам её решения. Высокоурбанизированный облик региона детализирован в книге до уровня отдельных посёлков городского типа и моногородов. Важно отметить, что демографические процессы на Дальнем Востоке анализируются авторами с учётом всего постсоветского периода.

Этот раздел вполне логично завершает описание транспортно-географического зонирования Дальнего Востока с обоснованием возможности и необходимости создания транспортно-экономической кольцевой структуры. Новаторство такого подхода состоит, в частности, в том, что авторы предлагают схему обобщённых широтных и меридиональных транспортных профилей и как итог обоснование необходимости постройки “Большого Дальневосточного транспортно-экономического кольца”. Идея проекта подкрепляется конкретными расчётами грузообеспеченности соответствующих сегментов этого кольца на основе природно-ресурсных комплексов. Правда, хотелось бы видеть и расчёты, позволяющие оценить экономическую эффективность предложенных транспортно-коммуникационных коридоров. Не полностью удовлетворяет и чрезмерный акцент на грузовой транспорт, в то время как для устойчивости поселенческой сети и сдерживания оттока населения в регионе с низкой его плотностью не менее важны и пассажирские перевозки с соответствующими им коммуникациями. Практическое значение имеет материал раздела, посвящённый сопряжённости транспортной сети региона с соседними государствами, что в условиях “новой реальности” крайне актуально и логично совмещается с приводимыми в книге геополитическими характеристиками макрорегиона.

Естественно, вниманием П.Я. Бакланова не обойдены и ныне модные проблемы устойчивого развития — применительно к приморским и континентальным регионам. Здесь следует особо выделить сюжеты, посвящённые исследованию природно-ресурсного потенциала российского шельфа, с конкретными расчётами и базирующимися на них рекомендациями. Как и в большинстве разделов, здесь авторы обращают внимание на недостаточное развитие меридиональных профилей. Как представляется, эта проблема носит экзистенциальный характер не только для Дальнего Востока, но и для всей Азиатской России.

Несколько разделов книги посвящено теоретическим и прикладным аспектам развития приграничных и трансграничных районов с естественным акцентом на специфику Тихоокеанской России (академик П.Я. Бакланов, кандидат географических наук Е.А. Ушаков). Авторы аккуратны в своих суждениях, что оправданно, учитывая современный международный контекст.

В заключительной части монографии П.Я. Бакланов, А.В. Мошков и их коллеги углубляются

в самые основы территориальной организации общества, концентрируя внимание на локальных уровнях пространственного развития — отдельных поселениях и их внутренней структуре (вплоть до обобщённой структурно-функциональной схемы поселения с окружающим пространством, в том числе морским), потенциале агломерационных процессов (по схожей с поселениями схеме анализа) и ТОРах (по аналогичной аналитической схеме) как прорывном инструменте пространственного развития, создающем полюса экономического роста.

По результатам полимасштабного анализа Дальневосточного региона Бакланов выделяет основные оси и зоны пространственного развития, с акцентом на территории опережающего развития. Анализ проблем и перспектив развития Дальнего Востока доводится до уровня территориальных производственно-технологических цепочек, что крайне редко просматривается в географической, да и экономической литературе. В рамках существующих в теории систем представлений о “чёрных”, “серых” и “белых” ящиках здесь, на наш взгляд, реализуется переход от “чёрного” ящика макрорегиона через “серые” ящики субъектов федерации и муниципалитетов к “белому” ящику техногенных структур. Содержимое последнего специально подбирается для выявления той же зависимости прямых и обратных связей, что и соответствующих уровней “серого” и “чёрного” ящиков. В ходе исследований и вытекающих из них обобщений постоянно возникает необходимость корректировки организации “белого” ящика и смены моделей. В связи с этим при моделировании необходимо многократно обращаться к схеме отношений “чёрный” — “белый” ящик. В монографии реализуется именно эта процедура, что является её несомненным достоинством.

Учитывая смещение акцентов пространственного развития России в Арктику, отдельный раздел книги посвящён природно-ресурсным и транспортным факторам долгосрочного развития восточной части Арктической зоны (академик П.Я. Бакланов, доктор географических наук М.Т. Романов, кандидат географических наук Г.Г. Ткаченко). В этой части особый интерес представляет конструирование транспортных коммуникаций не под отдельный ресурс, а под их комплексы, что снижает издержки и открывает возможности комплексного освоения территорий в экстремальных природных условиях.

Характеризуя монографию в целом, следует отметить удивительно гармоничное сочетание теоретико-методологических подходов с обширным, профессионально обобщённым эмпирическим материалом, что обеспечивает взаимную верификацию результатов. В списке литературы более 500 источников, охватывающих практически всё мировое и отечественное исследовательское пространство по рассматриваемой проблематике. Иллюстратив-

ный материал (карты, графики, таблицы) не только отражает полученные результаты, но и служит во многом источником научной рефлексии.

Резюмируя, можно отметить, что П.Я. Бакланов и его коллеги предлагают свой взгляд на макрорегион, опираясь не только на собственные исследования, но и на предшествующие наработки других исследовательских групп. При этом накопленное знание подвергается критическому переосмыслению, позволяет сделать вывод о дефектах существующих подходов, поскольку пространственное развитие часто сводится к региональному с оценкой внутренних тенденций и межрегиональных отношений. В рецензируемой монографии на первый план аргументированно выводится полимасштабный подход к исследованию пространственного развития, когда в географическом пространстве стран и макрорегионов анализируется развитие разноуровневых пространственных (как правило, иерархически сочленившихся) социально-экономических структур, где зачастую явно выраженные границы отсутствуют. Полимасштабность дополняется комплексным подходом, в рамках которого наряду с анализом взаимосвязей между социальными и экономическими подсистемами рассматриваются природно-ресурсные подсистемы, а пространство дифференцируется на территории и акватории.

Как новый взгляд на процессы системообразования следует отметить тезис о наличии собственных пространств у каждой подсистемы; последние в процессе эволюции накладываются друг на друга, со всем спектром индуцированных воздействий образуя сложносочленившийся многослойный пространственный пирог. С точки зрения П.Я. Бакланова, с которой можно согласиться, сущность пространственного развития закладывается на локальных уровнях, а затем оно, в соответствии с подходами американского учёного сербского происхождения М. Месаровича, движется к сложным многоуровневым иерархическим системам и переходу к другим масштабам уровней в соответствующих пространственных структурах. В определённом смысле это можно рассматривать как материально-вещественный базис формирования индивидуальных рынков.

При всём разнообразии подходов и методов, используемых в рассматриваемой монографии, именно географический фактор выступает в качестве основного инструмента для выявления главных особенностей территориально-пространственных структур на разных уровнях их развития. Основной объект подобных исследований — интегральные геосистемы, в границах которых реализуется всё существующее и потенциальное разнообразие взаимоотношений и взаимодействий в диполях “человек—природа”, “общественные пространственные структуры — природные и природно-ресурсные системы”.



Итоговый вывод коллектива исследователей под руководством П.Я. Бакланова заключается в том, что Тихоокеанская Россия имеет большой и, что важно, долговременный потенциал пространственного развития. Вместе с тем авторы критически оценивают полученные результаты, отмечая, что многие из рассмотренных в книге проблем нуждаются в дальнейших научных изысканиях. В частности, по их мнению, для эффективного решения задач государственного управления про-

странственным развитием необходимы расчётные модели устойчивого развития региона, в первую очередь цифровые.

Монография написана хорошим языком, легко воспринимается и читается на одном дыхании. Её можно рекомендовать не только географическому сообществу, но и широкому кругу читателей. Труд учёных Тихоокеанского института географии ДВО РАН вносит весомый вклад в научное обоснование нового сдвига на Восток.

## SPATIAL DEVELOPMENT OF PACIFIC RUSSIA: STRUCTURAL FEATURES, FACTORS, MAIN DIRECTIONS

Ed. Academician of the Russian Academy of Sciences P.Ya. Baklanov,  
Doctor of Geographical Sciences A.V. Moshkov.  
Vladivostok: TIG FEB RAS, 2023. 449 p.

**V.L. Baburin<sup>a,\*</sup>**

<sup>a</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: vbaburin@yandex.ru*

**Keywords:** Pacific Russia, Far Eastern macroregion, spatial development, territorial socio-economic systems.

---

---

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

---

---

## НАГРАДЫ И ПРЕМИИ

### ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ Л.С. ПЕРСИАНИНОВА 2023 ГОДА – Н.Н. ВОЛОДИНУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. Л.С. Персианинова 2023 года академику РАН Николаю Николаевичу Володину за работу “Перинатальная медицина. Итоги реализации научных исследований в практике”.

Полученные автором результаты научных исследований имеют огромное практическое значение. Обоснована необходимость всестороннего изучения взаимодействия в единой системе “мать—плацента—плод” для определения индикаторов прогноза течения беременности, раннего выявления начальных признаков гипоксии с дальнейшим развитием её хронического течения и, как следствие, внутриутробным страданием плода и формированием различных патологических синдромов и пороков. Именно это позволило научно обосновать и внедрить в практическое здравоохранение новые подходы к организации службы родовспоможения, диагностике и лечению основных заболеваний и синдромов у новорождённых, в том числе с очень низкой (ОНМТ) и экстремально низкой массой тела (ЭНМТ), а также методы оказания реанимационной помощи новорождённым и недоношенным детям, повышения качества оказания медицинской помощи беременным женщинам из группы высокого риска.

Проводились научные исследования в области неонатальной иммунологии и гематологии, методов этиотропной терапии и иммунотерапии врождённых инфекций, создания экспериментальных моделей по предупреждению перинатального поражения головного мозга, оптимизации методов интенсивной респираторной терапии недоношенных детей, совершенствования методов диагностики и лечения заболеваний гепатобилиарной системы у новорождённых, профилактики билирубиновой энцефалопатии, улучшения качества реабилитационной и реабилитационной помощи новорождённым детям. Исследования сопровождались не только выявлением новых научных закономерностей, но и внедрением в практическое здравоохранение современных высокоэффективных методов диагностики, профилактики и лечения перинатальных заболеваний у детей различного гестационного возраста.

Благодаря разработанным дифференцированным подходам к реанимации и стабилизации состояния новорождённых и глубоко недоношенных детей в родильном зале были усовершенствованы методы респираторной терапии детей с ОНМТ и ЭНМТ, включая широкое использование заместительной сурфактантной терапии, оптимизированы подходы к профилактике и лечению бронхолёгочной дисплазии у недоношенных детей, сформулированы современные принципы профилактики нозокомиальных инфекций, нарушений функционального состояния сенсорных органов.

## ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ В.Н. КУДРЯВЦЕВА 2023 ГОДА – А.В. НАУМОВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. В.Н. Кудрявцева 2023 года доктору юридических наук Анатолию Валентиновичу Наумову (Университет прокуратуры РФ) за монографию “Преступление и наказание в истории России” и авторский комментарий к Уголовному кодексу РФ “Уголовный кодекс Российской Федерации.

Общая часть: историко-филологический и доктринальный (научный) комментарий”.

Монография “Преступление и наказание в истории России” — фундаментальный труд междисциплинарного характера. В ней раскрыта тема преступления и наказания со времён Московского государства (XV–XVI вв.) до постсоветской России с позиций уголовного и уголовно-исполнительного права, криминологии и философии. История преступления и наказания в России представлена автором как своего рода специфическая история российского государства, народа, общества, без учёта которой немыслимо преодоление существующих в данной области доктринальных и практических проблем. Анализ формирования уголовного законодательства различных эпох проведён с учётом реальной социальной обстановки, существовавшей в разные исторические периоды, а также оценки криминогенной ситуации.

Научная ценность монографии А.В. Наумова состоит в том, что она не только объясняет глубинные процессы и системные проблемы в области становления уголовно-правовых запретов в России, но и “вооружает” специалистов в области права и других сфер методологией толкования и применения

уголовно-правовых норм, а также прогнозирования развития институтов преступления и наказания, позволяет определить пути улучшения правовых средств противодействия преступности, включая наказания, применяемые к лицам, совершившим преступление. Книга существенно обогащает доктринальные основания для совершенствования национального законодательства в области противодействия преступности и обеспечения прав человека, в том числе в свете реализации норм обновлённой в 2020 г. Конституции Российской Федерации.

Авторский комментарий к Уголовному кодексу РФ “Уголовный кодекс Российской Федерации. Общая часть: историко-филологический и доктринальный (научный) комментарий” — первый в России комментарий к уголовному закону, подготовленный одним автором. В нём на основе вышеуказанных методологических подходов к толкованию и применению уголовно-правовых норм сформулированы рекомендации по квалификации преступлений, а также разъяснены содержания международно-правовых конвенций, лежащих в основе установленных уголовно-правовых запретов. В комментарии оптимально сочетаются судебное и доктринальное (научное) толкования уголовного закона, а судебная практика представлена как итог состязательного уголовного процесса. При анализе проблемных составов преступлений автор полемизирует с Верховным судом РФ, показывает всю дискуссионность вопроса, излагая не только свою, но и иные существующие в юридической науке точки зрения. Комментарий снабжён таблицей изменений и дополнений, внесённых в Уголовный кодекс РФ, которая представляет собой самостоятельный научный результат, позволяющий анализировать динамику как уголовного закона, так и уголовной политики российского государства.



## ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ Г.И. БУДКЕРА 2023 ГОДА – В.В. ПАРХОМЧУКУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. Г.И. Будкера 2023 года академику РАН Василию Васильевичу Пархомчуку за цикл работ по теме “Развитие электронного охлаждения”.

Научные результаты В.В. Пархомчука связаны с развитием метода электронного охлаждения для пучков тяжёлых частиц. Учёный внёс огромный вклад в обоснование принципа электронного охлаждения, в экспериментальное и теоретическое развитие этого направления, достижение запланированных параметров электронных охладителей для ускорителей

в научных лабораториях по всему миру. Он разработал и создал новое поколение систем электронного охлаждения: в Институте ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН, в Центре исследования тяжёлых ионов им. Гельмгольца (GSI, Дармштадт), в IMP (Ланьчжоу), на Большом адронном коллайдере (ЛНС, Женева), для высоковольтного электронного охлаждения на синхротроне COSY (Юлих), для сверхпроводящего коллайдера протонов и тяжёлых ионов NICA в Объединённом институте ядерных исследований (Дубна). Кроме того, академик сформулировал концепцию и создал первый в РФ ускорительный масс-спектрометр, позволяющий производить датировку данных по радиогенному углероду-14 и проводить исследования с изотопными метками.

## ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ А.М. БУТЛЕРОВА 2023 ГОДА – О.Н. ЧУПАХИНУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. А.М. Бутлерова 2023 года академику РАН Олегу Николаевичу Чупахину за выдающиеся научные работы по C–H-функционализации органических соединений, имеющие большое научное и практическое значение, получившие мировое признание и определившие пути развития органической химии и практики современного органического синтеза.

Академик РАН О.Н. Чупахин — авторитетный учёный мирового уровня, один из самых ярких лидеров Уральской школы химиков-органиков, работы которого получили мировое признание и внесли весомый вклад в развитие теории и практики органической химии. Он крупный специалист в области органической химии, а также химии

лекарственных веществ, основатель нового научного направления “Нуклеофильное ароматическое замещение водорода”, которое вошло в современные отечественные и зарубежные учебники.

В результате всестороннего исследования реакций нуклеофильного ароматического замещения водорода сформулированы основы теории и практики данного процесса. С использованием этой методологии найдены оригинальные, в том числе принципиально новые, синтетические методы построения разнообразных органических соединений, предназначенных главным образом для разработки лекарственных препаратов и новых материалов.

О.Н. Чупахин — автор и соавтор более 600 научных работ, в том числе 10 монографий, более 200 авторских свидетельств и патентов. Он уделяет большое внимание подготовке кадров высшей квалификации: среди его учеников более 50 кандидатов и 13 докторов наук.