

2024

Т. 16, № 1

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ**



БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / www.21bs.ru

**КОЭФИЦИЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО
НАКОПЛЕНИЯ КАК ОСНОВА
БИОХИМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

А.П. Дегтярёв

*BIOLOGICAL ACCUMULATION
COEFFICIENTS AS A BASIS FOR
THE BIOCHEMICAL CLASSIFICATION
OF CHEMICAL ELEMENTS*

A.P. Degtyarev

**ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ
И АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРОВ
НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЙКАЛЬСКОЙ
НЕРПОЙ (*PUSA SIBIRICA* GMELIN,
1788) БЕРЕГОВОГО ЛЕЖБИЩА
НА О. ДОЛГИЙ (УШКАНЫ ОСТРОВА,
БАЙКАЛ) ПО МАТЕРИАЛАМ 2021 ГОДА**

**А.Б. Купчинский, М.Е. Овдин,
Е.А. Петров**

*INFLUENCE OF ABIOTIC AND
ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE USE
OF THE BAIKAL SEAL (*PUSA SIBIRICA*
GMELIN, 1788) OF THE SHORE ROOKING
ON DOLGIY ISLAND (USHKANY ISLANDS,
BAIKAL) ACCORDING TO DATA RELATED
TO THE YEAR 2021*

*A.B. Kupchinsky, M.Ye. Ovdin,
Ye.A. Petrov*

**НАУКОМЕТРИЯ, ОЦЕНКА НАУЧНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНЫХ
И НАУЧНАЯ ПОЛИТИКА В РОССИИ**

Л.Я. Боркин, А.Ф. Сайфитдинова

*SCIENTOMETRICS, ASSESSMENT
OF SCIENTIFIC ACTIVITIES
OF SCIENTISTS, AND SCIENCE
POLICY IN RUSSIA*

L.J. Borkin, A.F. Saifitdinova

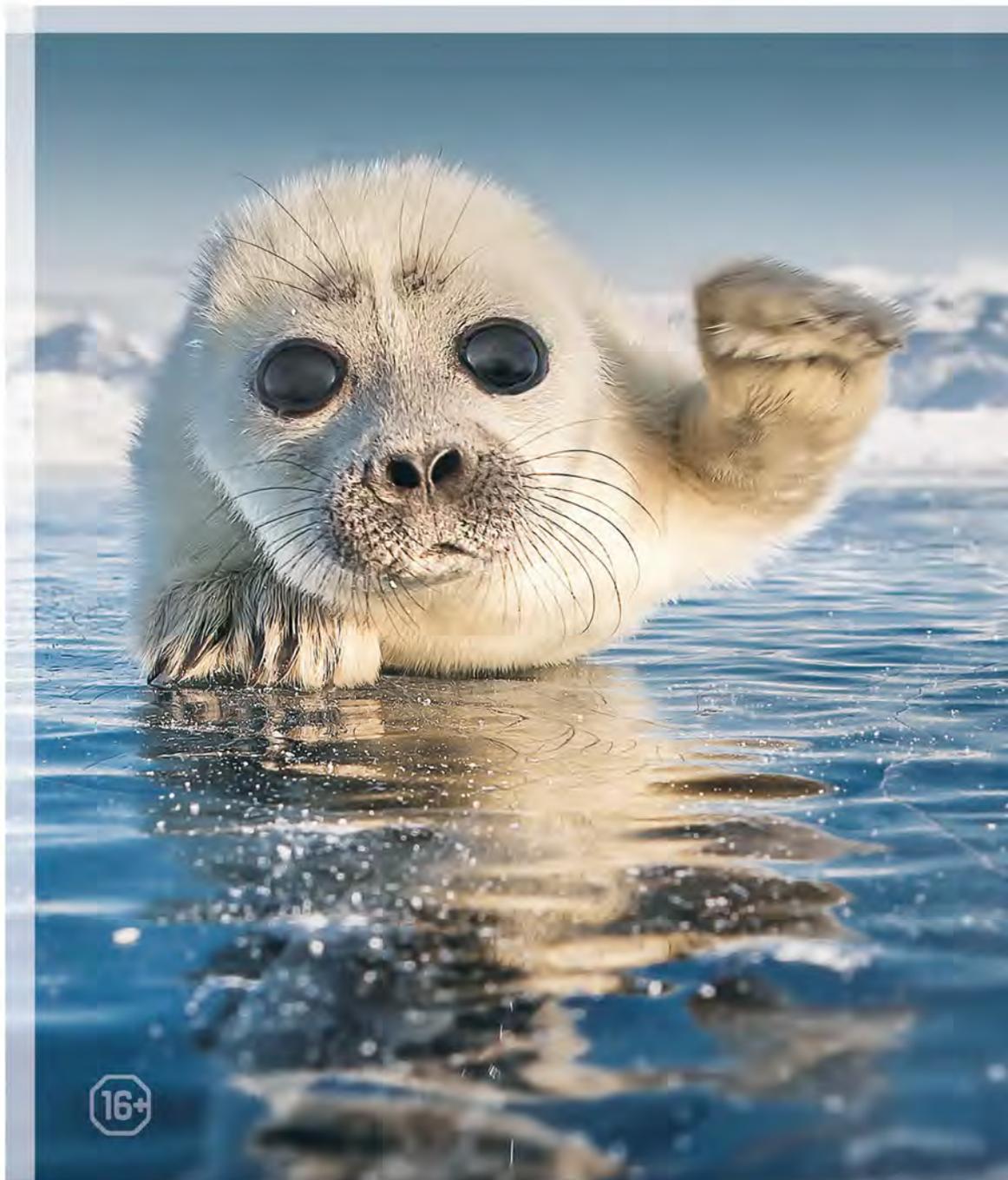


ФОТО: СЕРГЕЙ АНИСИМОВ, SIPACONTEST.COM

© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ
ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЗНАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ БИОСФЕРЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ РЕСУРСОВ

Том 16, № 1

Санкт-Петербург
2024



BIOSPHERE

INTERDISCIPLINARY JOURNAL OF BASIC AND APPLIED SCIENCES DEDICATED
TO COMPREHENSION AND PROTECTION OF THE BIOSPHERE AND TO USAGE OF RESOURCES THEREOF

Vol. 16, No. 1

Saint Petersburg
2024

© «XXI CENTURY» RESEARCH FOUNDATION
RUSSIAN ECOLOGICAL ACADEMY

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**EDITORIAL BOARD**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР EDITOR-IN-CHIEF
Г.С. РОЗЕНБЕРГ (ТОЛЬЯТТИ) G.S. ROZENBERG (TOGLIATTI)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF
А.Г. ГОЛУБЕВ (С.-ПЕТЕРБУРГ) A.G. GOLUBEV (SAINT PETERSBURG)

СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:**И.М. ТАТАРНИКОВА**

EDITORIAL SECRETARY:

I.M. TATARNIKOVA

ДИЗАЙН: Е.А. КОРЧАГИНА

DESIGN: YE.A. KORCHAGINA

ВЕРСТКА: Т.А. СЛАЩЕВА

LAYOUT: T.A. SLASCHEVA

КОРРЕКТОР: Н.А. НАТАРОВА

PROOFREADING: N.A. NATAROVA

АДМИН САЙТА:**И.В. ПЕРЕСКОКОВ**

SITE ADMIN:

I.V. PERESKOKOV

Е.В. Абакумов (С.-Петербург) E.V. Abakumov (Saint Petersburg)**Э.В. Баркова (Москва) E.V. Barkova (Moscow)****В.Н. Большаков (Екатеринбург) V.N. Bolshakov (Ekaterinburg)****Л.Я. Боркин (С.-Петербург) L.Ja. Borkin (Saint Petersburg)****А.К. Бродский (С.-Петербург) A.K. Brodsky (Saint Petersburg)****Р.М. Вильфанд (Москва) R.M. Vilfand (Moscow)****В.В. Глупов (Новосибирск) V.V. Glupov (Novosibirsk)****М.Д. Голубовский (Окленд, США) M.D. Golubovskiy (Oakland, CA, USA)****В.А. Драгавцев (С.-Петербург) V.A. Dragavtsev (Saint Petersburg)****Г.В. Жижин (С.-Петербург) G.V. Zhizhin (Saint Petersburg)****Т.Д. Зинченко (Тольятти) T.D. Zinchenko (Togliatti)****Г.А. Ивахненко (С.-Петербург) G.A. Ivakhnenko (Saint Petersburg)****Г.А. Исаченко (С.-Петербург) G.A. Isachenko (Saint Petersburg)****Л.М. Кавеленова (Самара) L.M. Kavelenova (Samara)****Н.А. Кашулин (Апатиты) N.A. Kashulin (Apatity)****М. Клявинш (Рига, Латвия) M. Klavins (Riga, Latvia)****С.В. Кривовичев (С.-Петербург) S.V. Krivovichev (Saint Petersburg)****Г.Р. Кудоярова (Уфа) G.R. Kudoyarova (Ufa)****А.Ю. Кулагин (Уфа) A.Yu. Kulagin (Ufa)****М.Д. Магомедов (Махачкала) M.D. Magomedov (Makhachkala)****Н.Н. Марфенин (Москва) N.N. Marfenin (Moscow)****М.А. Надпорожская (С.-Петербург) M.A. Nadporozhskaya (Saint Petersburg)****Ю.К. Новожилов (С.-Петербург) Yu.K. Novozhilov (Saint Petersburg)****Г.В. Осипов (Москва) G.V. Osipov (Moscow)****В.А. Павлюшин (С.-Петербург) V.A. Pavliushin (Saint Petersburg)****К.М. Петров (С.-Петербург) K.M. Petrov (Saint Petersburg)****О.Н. Пугачев (С.-Петербург) O.N. Pugachev (Saint Petersburg)****Ю.А. Рахманин (Москва) Yu.A. Rakhmanin (Moscow)****В. Реген (Берлин, Германия) W. Regen (Berlin, Germany)****А.А. Редько (С.-Петербург) A.A. Redko (Saint Petersburg)****А.Л. Рижинашвили (С.-Петербург) A.L. Rzhinashvili****Г.А. Софронов (С.-Петербург) G.A. Sofronov (Saint Petersburg)****В.М. Тарбаева (С.-Петербург) V.M. Tarbayeva (Saint Petersburg)****Ф.А. Темботова (Нальчик) F.A. Tembotova (Nalchik)****И.А. Тихонович (С.-Петербург) I.A. Tikhonovich (Saint Petersburg)****М.Д. Уфимцева (С.-Петербург) M.D. Ufimtseva (Saint Petersburg)****М.А. Филатов (Сургут) M.A. Filatov (Surgut)****Е.Я. Фрисман (Биробиджан) Ye.Ya. Frisman (Birobijan)****О. Чертов (Бинген-на-Рейне, Германия) O. Chertov (Bingen am Rhein, Germany)****Л.П. Чурилов (С.-Петербург) L.P. Churilov (Saint Petersburg)****АДРЕС РЕДАКЦИИ:****197110, Санкт-Петербург,
Большая Разночинная ул., д. 28;****Тел./факс: (812) 415-41-61****Эл. почта: biosphaera@21mm.ru****Электронная версия:****http://21bs.ru (ISSN 2077-1460)****POSTAL ADDRESS:****28 Bolshaya Raznochinnaya,
197110,
Saint Petersburg, Russia;****Phone/fax: +7 (812) 415-41-61;****E-mail: biosphaera@21mm.ru****Online version:****http://21bs.ru (ISSN 2077-1460)**

СОДЕРЖАНИЕ

A3

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

1

Редакционная статья
А ВОС И НЫНЕ ТАМ... НО УЖЕ НЕ ЗДЕСЬ?
Г.С. Розенберг
Editorial
WOS IS STILL THERE... IS IT HERE?
G.S. Rozenberg

ТЕОРИЯ / THEORY

5

**КОЭФФИЦИЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО
НАКОПЛЕНИЯ КАК ОСНОВА БИОХИМИЧЕСКОЙ
КЛАССИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**
А.П. Дегтярёв
BIOLOGICAL ACCUMULATION COEFFICIENTS AS A
BASIS FOR THE BIOCHEMICAL CLASSIFICATION OF
CHEMICAL ELEMENTS
A.P. Degtyarev

ПРАКТИКА / PRACTICE

20

**ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕПЛООВОГО
СОСТОЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
В КОНТЕКСТЕ ТЕХНОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ**
А.А. Карсаков, Е.И. Пономарев
REMOTE MONITORING OF THE THERMAL CONDITION
OF UNDERLYING SURFACE UNDER THE CONDITIONS
OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION
A.A. Karsakov, E.I. Ponomarev

30

**ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ
ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ
НА ФОТОСИНТЕЗ В ЛИСТЬЯХ БЕРЕЗЫ
ПЛОСКОЛИСТНОЙ (*BETULA PLATYPHYLLA*
SUKACZ.) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**
**П.Г. Мордовской, Т.Х. Максимов, М.Р.
Григорьев, Е.В. Старостин, А.А. Неустроев**
EFFECTS OF INCREASED LEVELS OF BLACK CARBON
IN THE AIR ON PHOTOSYNTHESIS IN LEAVES OF THE
BIRCH TREE (*BETULA PLATYPHYLLA* *SUKACZ.*) IN
CENTRAL YAKUTIA
P.G. Mordovskoi, T.Kh. Maksimov, M.P. Grigoryev,
Ye.V. Starostin, A.A. Neustroyev

36

**ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ ДЕГИДРОГЕНАЗ
И ИНВЕРТАЗЫ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОГО
ЧЕРНОЗЕМА ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОЧАРА И
БАКТЕРИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА**
Т.В. Минникова, С.И. Колесников, Н.С. Минин
EVALUATION OF DEHYDROGENASES AND INVERTASE
ACTIVITY IN PETROLEUM-HYDROCARBON-
CONTAMINATED HAPLIC CHERNOZEM DURING
REMEDICATION WITH BIOCHAR AND BACTERIAL
PREPARATION
T.V. Minnikova, S.I. Kolesnikov, N.S. Minin

ПРИРОДА / NATURE

45

**СИВУЧ (*EUMETOPIAS JUBATUS* SCHREBER, 1776)
И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО – ОЦЕНКА
ВЛИЯНИЯ КОНКУРЕНЦИИ ЗА ОБЩИЕ ВИДЫ
ГИДРОБИОНТОВ**
**И.А. Усатов, И.С. Труханова, А.В. Алтухов,
В.Н. Бурканов**
STELLER SEA LION (*EUMETOPIAS JUBATUS*
SCHREBER, 1776) AND COMMERCIAL FISHERIES –
COMPETITION FOR SHARED SPECIES
I.A. Usatov, I.S. Trukhanova, A.V. Altukhov,
V.N. Burkanov

68

**ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ
И АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРОВ
НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПОЙ
(*PUSA SIBIRICA* GMELIN, 1788) БЕРЕГОВОГО
ЛЕЖБИЩА НА О. ДОЛГИЙ (УШКАНЫИ ОСТРОВА,
БАЙКАЛ) ПО МАТЕРИАЛАМ 2021 ГОДА**
А.Б. Купчинский, М.Е. Овдин, Е.А. Петров
INFLUENCE OF ABIOTIC AND ANTHROPOGENIC
FACTORS ON THE USE OF THE BAIKAL SEAL (*PUSA*
SIBIRICA GMELIN, 1788) OF THE SHORE ROOKING
ON DOLGIY ISLAND (USHKANY ISLANDS, BAIKAL)
ACCORDING TO DATA RELATED TO THE YEAR 2021
A.B. Kupchinsky, M.Ye. Ovdin, Ye.A. Petrov

84

**ТРЕНДЫ ПРОДУКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ
И АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ В
БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ В УСЛОВИЯХ
МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**
А.П. Гусев
TRENDS IN THE PRODUCTIVITY OF NATURAL AND
ANTHROPOGENIC ECOSYSTEMS IN BELARUSIAN
POLESYE UNDER CLIMATIC CHANGES
A.P. Gusev

<p>91</p>	<p>ФЛОРА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «КРАСНЫЙ МАР» (ШЕМЫШЕЙСКИЙ РАЙОН, ПЕНЗЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ) Л.А. Новикова, В.М. Васюков, Т.В. Горбушина, М.С. Кабанова FLORA AND VEGETATION OF THE NATURE MONUMENT "KRASNY MAR" (SHEMYSHEYSKY DISTRICT, PENZA REGION) L.A. Novikova, V.M. Vasjukov, T.V. Gorbushina, M.S. Kabanova</p>	<p>ОБЩЕСТВО/ SOCIETY</p> <p>103</p> <p>НАУКОМЕТРИЯ, ОЦЕНКА НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНЫХ И НАУЧНАЯ ПОЛИТИКА В РОССИИ Л.Я. Боркин, А.Ф. Сайфитдинова SCIENTOMETRICS, ASSESSMENT OF SCIENTIFIC ACTIVITIES OF SCIENTISTS, AND SCIENCE POLICY IN RUSSIA L.J. Borkin, A.F. Saifitdinova</p>
-----------	---	--



А ВОС И НЫНЕ ТАМ... НО УЖЕ НЕ ЗДЕСЬ?

Г.С. Розенберг

Главный редактор журнала «Биосфера»

WOS IS STILL THERE... IS IT HERE?

G.S. Rozenberg

Editor-in-Chief of the journal Biosfera

Иногда (подчеркну – не очень часто) присылаемые в журнал «Биосфера» статьи доставляют мне как главному редактору истинное наслаждение. Происходит это по разным причинам: это может быть результат, который я долго искал, и вот он найден, просто блестящий стиль изложения (ничего ни добавить, ни убавить), это могут быть созвучные моим мысли о тех или иных процессах в нашем научном сообществе, которые меня живо интересуют. Именно к последней категории относится статья члена редколлегии нашего журнала канд. биол. наук Л.Я. Боркина, представляющего Санкт-Петербургский союз учёных, и его соавтора профессора А.Ф. Сайфитдиновой (Российский государственный педагогический университет им А.И. Герцена, Санкт-Петербург), которую мы публикуем в этом номере журнала (с. 103–143).

Речь в статье идет об ошибочной наукометрической политике, которая захлестнула, в первую очередь, фундаментальную науку (как в Российской академии наук, так и в системе высшего образования)¹. Как от-

мечают и сами авторы статьи, сегодня существует большое число публикаций и отзывов, содержащих критические мнения об использовании библиометрических индексов для оценки деятельности научных сотрудников и их коллективов; статью сопровождает обширный список цитируемой литературы (144 наименования; из них 3/4 – на иностранных языках), который представляет самостоятельный интерес. Я тоже занимался этой проблемой (назову некоторые из своих работ [3, 10–14]), что дает мне право «дополнить» рекомендуемую читателю статью высказываниями ряда выдающихся представителей академического сообщества.

Один из первых российских академиков, полимат (энциклопедист) **М.В. Ломоносов** в предисловии к «Российской грамматике» (1755 г.) [6, с. 391–392]: «Язык российский не токмо обширностию мест, где он господствует, но купно и собственным своим пространством и довольствием велик перед всеми в Европе. Невероятно сие покажется иностранным и некоторым природным россиянам, которые больше к чужим языкам, нежели к своему трудов прилагали... <...> Тончайшие философские воображения и рассуждения, многоразличные естественные свойства и перемены, бывающие в сем видимом строении мира и в человеческих обращениях, имеют у нас пристойные и вещь выражающие речи. И ежели чего точно изобразить не можем, не языку нашему, но недовольному своему в нем искусству приписывать долженствуем».

ла с самого начала кампании по переподчинению российской науки внешним библиометрическим агентствам обозначили свою позицию так (<http://21bs.ru/index.php/bio>): «Изучением и обеспечением научных основ охраны и эксплуатации российской природы должны заниматься российские ученые, а результаты этой работы должны доводиться до сведения всех заинтересованных сторон в первую очередь на русском языке... Если при заключении контракта администрации вуза с преподавателем или при подаче заявки на грант Российского научного фонда в зачет идет только то, что индексируется в зарубежных инстанциях (Scopus, WoS...), туда и уходит все, что удается пропихнуть. Но из этого следует лишь то, что неуважение руководства российской наукой к сфере своей ответственности, а значит и к себе, проявившееся в насаждении такого порядка вещей, распространилось сверху донизу. На противодействие этому перекосу и направлены средства, выделяемые на «Биосферу»».

¹ Казалось бы, для журнала, числящегося в списке ВАК по специальности «1.5.15. Экология (биологические науки)», публиковать такие статьи – заниматься не своим делом. Но надо учитывать, что главная идея концепции журнала (<http://21bs.ru/index.php/bio/about/editorialPolicies#focusAndScope>) состоит «в предоставлении единого информационного пространства для специалистов в разных отраслях науки и практики, участвующих в решении общей задачи оптимизации отношений между человеком и природой. Предпочтение при выборе материалов для публикации отдается широким междисциплинарным статьям, выходящим за рамки какой-либо отдельной отрасли науки и практики и представляющим интерес для большого круга представителей разных отраслей естественных, точных, медицинских, гуманитарных и технических наук». Такой характер публикаций вообще не предусмотрен в какой-либо официальной номенклатуре, поэтому журнал с самого начала оказался перед необходимостью решать проблемы, возникающие при попытках вписаться в публикационное пространство так, чтобы отвечать потребностям экологии как науки. И такие проблемы связаны в немалой степени с тем, как оценивается и учитывается публикационная активность в квалификационных вопросах. Поэтому все пертурбации в этой сфере стали для журнала в высшей степени значимыми. Приходилось постоянно реагировать на них и комментировать их в проекции на концепцию журнала. Публикации в «Биосфере» на эту тему можно найти в тематической подборке на сайте журнала (<http://21bs.ru/index.php/bio/pages/view/thematic-collections#PROBLEMY>). А издатель и редакция журна-

Публицист-революционер, кандидат Университета² **А.И. Герцен** в 1851 г.: «В продолжение XVIII века ново-русская литература вырабатывала тот научный богатый язык, которым мы обладаем теперь; язык гибкий и могучий, способный выражать и самые отвлеченные идеи германской метафизики и легкую, сверкающую игру французского остроумия» [2, с. 300].

Один из основателей отечественной антропологии, чл.-корр. Императорской Санкт-Петербургской академии наук **А.П. Богданов**: «Истинная цель нации есть единение народов в искании научной истины, пользуясь своими специальными дарованиями и своим национальным гением, без нивелировки, без лишения их оригинальности, без придания им чуждой формы. С этой точки зрения надо, отбросив в сторону политику, *всеми силами поощрять развитие национальной науки*. Надо симпатизировать попыткам, имеющим целью развитие оригинального характера науки каждой страны, ибо наука движется вперед людьми сильными в своей индивидуальности, а не жалкими подражателями иностранным образцам» (цит. по: [9, с. 431]; *выделено мной*. – Г.Р.).

Философ, доктор государственных наук³ **И.А. Ильин** (один из пассажиров «философского парохода» 1922 г.): «Кто поработает Россию, – тот поработает и русскую науку; и обратно, растлевающий и унижающий русскую науку – растлевает и унижает самое духовное тело национальной России. <...> *Нация, не имеющая своей науки, – первобытна и недоуменна в своем бытии*: её самочувствие темно и растеряно; её самосознание беспомощно молчит; её духовность хаотична и проблематична; её слово томится, не рожденное во мраке страстей. И потому – в смысле духовного света и прозрения, в утверждении власти духа над страстями и над материей, в организации духовного космоса нации – рождение науки и рождение Академии есть подлинный праздник национального самоутверждения, самонахождения и самоосвобождения» [4, с. 13, 14] (*выделено мной*. – Г.Р.).

Гидробиолог, академик **В.В. Богатов** [1, с. 246]: «Мировая наука представляет собой особый способ международного сотрудничества, при котором выдающиеся достижения одних народов не перечеркивают достижения других. И в то же время *существует национальная гордость* за своих ученых, а также оценка личного вклада во всемирную науку» (*выделено мной*. – Г.Р.).

Биогеограф, профессор **А.И. Кафанов** [5, с. 178, 179]: «Основоположники интернационального естествознания были в то же время основателями национальной науки. Достаточно вспомнить, что Галилей в Италии,

Декарт во Франции и М.В. Ломоносов в России писали свои основные научные сочинения не на латыни, общепринятом тогда международном научном языке, но соответственно на итальянском, французском и русском языках. Выдающийся советский ботаник, растениевод, генетик, географ и организатор науки Н.И. Вавилов публиковал свои работы почти исключительно на русском языке, что не помешало ему добиться высочайшего международного авторитета».

Физик, чл.-корр. РАН **М.В. Ковальчук** (из выступления на заседании Совета по науке и образованию при Президенте РФ, которое провел В.В. Путин 30 апреля 2013 г. в Гатчине, Ленинградская область)⁴: «Дело в том, что, когда мы переходим к оценке труда научного сотрудника по иностранному индексу цитирования, мы автоматически ставим их на конвейер получения грантов, всего остального по индексу цитирования, в который не входят наши журналы. *Если вы хотите убить национальные журналы, самое простое – ввести оценку людей по международному индексу цитирования*. Если мы хотим сберечь национальную науку и национальный язык, русский, чтобы он был тоже научным языком и уважаемым не только потому, что им разговаривал Ленин, – это крайне важное мероприятие, к которому надо отнестись очень серьезно» (*выделено мной*. – Г.Р.).

Биохимик, академик **Е.Д. Свердлов** [15]: «Сегодня оценка ученых все в большей степени определяется уровнем престижности их публикаций. Эта политика пагубна для науки. Любые библиометрические данные, тем более импакт-фактор журналов, в которых ученые публикуются, не могут служить критерием эффективности исследований или ценности публикаций. Невоспроизводимость статей стала обычным явлением. Отзыв статей принял такие масштабы, что разрабатывается база данных *Retraction Watch*, которая уже содержит 16000 записей об отозванных статьях. Стремление журналов повысить свой импакт-фактор приводит к тому, что статьи оцениваются не по их научному потенциалу и новизне, а по перспективе их цитируемости, в результате чего пионерские статьи зачастую отвергаются».

Математик, академик **Р.И. Нигматулин** (речь на заседании Президиума РАН 15 января 2019 г.: «Он [В.В. Путин] согласился, что ключевыми показателями являются не публикационные и “цитационные” показатели, “а основанные на репутационной ответственности и оценке профессионального сообщества. Это нужно сделать”. <...> Мы каждые 5 лет аттестовали всех научных работников. Мы проводили комплексные проверки всех институтов РАН. А это значит, надо восстановить решающее влияние Академии наук и ее отделений на планирование и оценку

² Кандидат Университета – научная степень в России (1803–1884), близкая к бакалавру наук.

³ Доктор государственных наук – высшая ученая степень в Российской империи в период 1804–1918.

⁴ [http://www.kremlin.ru/events/councils/by-council/6/18010].

деятельности ученых и институтов. *Ученых должны оценивать ученые, а не библиографы. <...> Это у нас было, но разрушила чиновничья рать» [8, с. 191] (выделено мной. – Г.Р.).*

Все слова хорошие, умные. *Но WoS и ныне там...⁵* Наши журналы высоко котировались в доинтернетовскую эпоху; ученые 60+ помнят «попрошайки» (открытки с просьбой прислать отпечаток статьи; из личного: я работал в Уфе и сохранил такую открытку с адресом [латинскими буквами] – СССР, г. Башкирск, Розенбергу; и она нашла адресата!). Никто не заставлял нас публиковаться только за границей (как иронично заметил один из крупнейших экологов XX века, испанец Рамон Маргалеф [7, с. 190], на «деградированном английском языке, который занял место средневекового латинского как способ коммуникации в науке»), а зарубежные исследователи внимательно следили за изданиями «на кириллице».

Не устану повторять, что стратегической ошибкой руководства страны в сфере повышения эффектив-

ности научных исследований стало переподчинение академических институтов сначала ФАНО, а потом Министерству науки и образования, и слияние двух академий «прикладной» науки (медицинской и сельскохозяйственной) с Российской академией наук, в большей степени ориентированной на фундаментальные исследования. Мне кажется, что при «старой» системе организации науки такого рода проблем с библиометрической вакханалией было бы намного меньше (хотя...).

Вот такие мысли возникли у меня после ознакомления с очень интересной, подробной и объемной статьей Л.Я. Боркина и А.Ф. Сайфитдиновой. И последнее. Публикации, журналы... Конечно, это важно, но еще важнее наша целенаправленность на получение научного результата и талант, обеспеченность научного процесса и атмосфера творческой свободы, наша коммуникабельность и работоспособность. Хочу пожелать читателям получить большее, чем я, удовольствие от знакомства с этой удачной работой авторов.

Литература

1. Богатов ВВ. Организация науки в России: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Владивосток: Дальнаука, 2005.
2. Герцен АИ. Русский народ и социализм. Письмо к Ж. Мишле. В кн.: Герцен АИ. О социализме. Избранное. М.: Наука; 1974. С. 264-312.
3. Голубев АГ, Слепян ЭИ, Боркин ЛЯ, Петров КМ, Селиховкин АВ, Тарбаева ВМ, Чурилов ЛП, Драгавцев ВА, Розенберг ГС. Редакционная статья. Десять лет жизни журнала «Биосфера» в условиях роста загрязненности информационной среды. Биосфера. 2018;10: А4-А9.
4. Ильин ИА. Идея национальной науки. Русский колокол. 1930;(9):12-20. Цит. по: Ильин ИА. Идея национальной науки: (речь, произнесенная 12 января 1930 года в Берлине на собрании в честь 175-летия годовщины со дня основания Московского университета). Публикация и комментарии Ю.Т. Лисицы. Советская литература. 1991;(1):116-32.
5. Кафанов АИ. Размышления о российской науке (по поводу книги В.В. Богатова «Организация науки в России»). Вестн. ДВО РАН. 2006;(3):175-80.
6. Ломоносов МВ. Российская грамматика. В кн.: Полное собрание сочинений. Т. 7. Труды по филологии (1739-1758 гг.). М., Л.: Изд-во АН СССР; 1952. С. 389-57.
7. Маргалеф Р. Облик биосферы. М.: Наука; 1992.
8. Нигматулин РИ. Развитие России. Проблемы предсказуемости и управляемости. В кн.: Мировое развитие: проблемы предсказуемости и управляемости: XIX Международные Лихачевские научные чтения, 22–24 мая 2019 г. СПб.: СПбГУП; 2019. С. 190-2.

⁵ Индексы doi тоже там, но уже не здесь. Сейчас прямой договор издателя «Биосферы» с агентством Crossref, регистрирующим doi, расторгнут ввиду того, что санкциями закрыты технические возможности оплачивать услуги Crossref. Все попытки использовать разные банки и пути перевода денег оказались безуспешными. От Crossref были получены письма, где они выражали сочувствие и давали советы, более того, предоставили льготный период. Но и он кончился. Технически это означает, что индексы doi статьям в «Биосфере» по-прежнему присваиваются, но ссылки в статьях не учитываются и сами статьи не регистрируются в CrossRef, а значит не индексиру-

ются в Google Scholar. Поэтому нет смысла и в латиническом списке русскоязычных статей. Индексы doi по-прежнему остаются уникальными идентификаторами, то есть по doi статью можно найти любой поисковой системой общего назначения примерно через неделю после того, как статья опубликована на сайте журнала онлайн, однако же «шашечки есть, но такси не едет». И ничто никому не мешает поставить тот же doi на что угодно. В таком положении оказались все российские журналы, у которых были прямые договоры с CrossRef. Как дела у тех, кто заключал договоры через посредников, остается непонятным.

9. Райков БЕ. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина. Т. 4. М.; Л.: Изд-во АН СССР; 1959.
10. Розенберг ГС. Осторожно: ремонт! Модернизировать ВАК нужно аккуратно. Поиск. 2013;12(1242):10, 13.
11. Розенберг ГС. Об импакт-факторах отечественных журналов эколого-биологического профиля. Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2014;23(3): 5-23.
12. Розенберг ГС. РАН, ФАНО, ВАК, WoS, ХИРШ и другие буквосочетания, или что принесла «перестройка» фундаментальной науки и образования?.. Акценты. Новое в массовой коммуникации. 2017;(5-6):5-24.
13. Розенберг ГС, Быков ЕВ, Саксонов СВ, Сенатор СА, Файзулин АИ. Пространство эко-журналов (краткое пособие для магистров, аспирантов и иже с ними). Тольятти: Анна; 2020.
14. Розенберг ГС, Саксонов СВ. Российской академии наук 295 лет: шестилетняя хроника пикирующего Института. Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019;28(2):15-52.
15. Свердлов ЕД. Статья может хорошо цитироваться потому, что она ошибочна. Почему научную работу нельзя оценивать по ее цитированию. Indicator. 2018. [<https://indicator.ru/biology/impakt-faktor.htm?ysclid=lvo0v7b344913904315>].



КОЭФФИЦИЕНТЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО НАКОПЛЕНИЯ КАК ОСНОВА БИОХИМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.П. Дегтярёв

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

Эл. почта: *degtyarev_a@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 25.09.2023; принята к печати: 23.01.2024

Понятие «биофильность», введенное в 1975 году А.И. Перельманом как отношение кларка элемента в живом веществе к его кларку в земной коре, не привело к созданию адекватной биогеохимической классификации химических элементов на этой основе, поскольку в соответствующих координатах линия, объединяющая биохимически нейтральные элементы, не является прямой зависимостью. Графически выявлено, что «линия биохимической нейтральности» является степенной функцией. Вместо понятия «биофильность» вводится понятие «биохимическая значимость» элементов как кратно выраженное отклонение от линии нейтральности. Приводятся числовые ряды биохимической значимости для 42 элементов, а также числовые ряды обогащения консументов первого порядка суши относительно растений суши теми же элементами. Показано, что биохимическая роль одних элементов в этих двух рядах идентична, а в других сильно изменилась.

Ключевые слова: биофильность, коэффициент биологического поглощения, микроэлементы, биохимическая классификация элементов.

BIOLOGICAL ACCUMULATION COEFFICIENTS AS A BASIS FOR THE BIOCHEMICAL CLASSIFICATION OF CHEMICAL ELEMENTS

A.P. Degtyarev

V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

E-mail: *degtyarev_a@mail.ru*

The concept of "biophilicity", which was introduced in 1975 by A. Perelman as the ratio of the clark values of an element in the living matter and in the Earth's crust, does not provide for an adequate biogeochemical classification of elements because, in the respective coordinate system, the line representing the biochemically neutral elements is not straight. It is shown graphically that the "line of biochemical neutrality" conforms to a power function. Instead of the concept of "biophilicity", the concept of the "biochemical significance" of elements introduced in the present study corresponds to the multiplicity of deviation of a given element from the line corresponding to neutrality. The numerical series of biochemical significance values for 42 elements are presented as well as the numerical series of enrichment with elements of the primary terrestrial consumers vs. terrestrial plants. It is shown that the biochemical significance of some elements in these two series is the same, whereas of others it is different significantly.

Keywords: biophilicity, bioconcentration factor, BCF, trace elements, biochemical significance, biochemical classification of elements.

ВВЕДЕНИЕ

Рассматривая связь химического состава живого вещества с химическим составом земной коры, гидросферы и атмосферы, В.И. Вернадский [1] подразделяет химические элементы по концентрациям в биоте на декады: I ($10^{1\%}$ – O, H); II ($10^{0\%}$ – C); III ($10^{-1\%}$ – P, Si, K, Ca, N), IV ($10^{-2\%}$ – S, Mg, Fe, Na, Cl, Al) и т. д. Он также акцентирует внимание на изучении живого вещества в связи с химическим составом Земной коры и среды обитания организмов. Это послужило в дальнейшем формированию биогеохимии и геохимической экологии, где для оценки степени аккумуляции химических элементов организмами стали использовать соответствующие коэффициенты.

Существует целый ряд показателей, характеризующих интенсивность поглощения химических элементов из вещества косного живым веществом. Однако скрытый смысл, вложенный в определение данных показателей, часто выпадает из поля зрения исследователей. Рассмотрим некоторые из этих показателей.

Коэффициент биологического поглощения (КБП, K_b) показывает, во сколько раз содержание элемента X в золе растения больше, чем в подстилающей его косной среде (почва, техногенно преобразованный грунт, горная порода). Данный коэффициент хорошо иллюстрирует обобщенные различия в поведении отдельных элементов, а групп элементов. Так, Б.Б. Польшов еще в 1948 году ([15–17], табл. 1) выделял че-

тыре ряда биологического поглощения (группы элементов): энергичное биологическое накопление (P, S, Cl, Br, I), сильное накопление (Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se), средний биологический захват (Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra) и слабый/очень слабый биологический захват (Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd). Внутри каждой группы элементы не ранжированы. Классификация проведена по формальному признаку: отношение содержания элемента в живом веществе к его содержанию в литосфере как исходной питающей среде. В понимании Б.Б. Польшова каждый полученный коэффициент отражает отношение местной биоты к местной подстилающей породе. Разумеется, не обошлось и без обобщений: в вышеуказанной классификации элементов использованы статистические обобщения по наиболее характерным, типичным КБП.

Отметим, что КБП становится неопределенным, если речь идет о морской или озерной биоте. Как минимум, необходимо было бы ввести аналогичный КБП термин, где в знаменателе окажется кларк элементов в гидросфере как источнике элементов (отдельно в пресной воде, отдельно в морской). Такие коэффициенты действительно использовались [11, 23, 24].

Дальнейшее развитие данное направление получило в работах А.И. Перельмана. Его идея заключалась в том, чтобы выявить совокупное отношение *всего* живого вещества к земной коре как *целому*. Так появилось понятие «биофильность» [15, 16] как отношение кларка элемента в *сырой* биомассе к его кларку в земной коре. Однако эту попытку вряд ли можно признать удачной по нескольким причинам. Для начала отметим, что классическое определение «биофильности» как минимум нуждается в коррекции. Более точное определение «биофильности» должно означать отношение кларка химического элемента в живом веществе *суши* к его кларку в *верхней части континентальной* земной коры. Первая поправка важна, поскольку живое вещество моря однозначно должно быть исключено из рассмотрения: его элементный состав полностью зависит от среды – морской части гидросферы.

Что касается живого вещества суши, то исходным резервуаром химических элементов для него является только континентальная земная кора, притом лишь приповерхностная ее часть. Средний состав поверхности континентальной коры не равнозначен кларку континентальной коры как целого. Это обусловлено следующими причинами. Первая: процессы денудации захватывают преимущественно осадочную оболочку, имеющую свой специфический состав, отличный от состава первичных магматических пород. Вторая: континентальная кора имеет двуслойное строение, и ее нижний «гранулит-базитовый» слой не участвует в процессах денудации. Этот процесс затрагивает либо только «гранито-гнейсовую» оболочку, либо осадочный платформенный чехол, либо вулканогенно-магматическо-осадочную оболочку складчатых поясов.

По своему смыслу понятие «биофильность» мало отличается от коэффициента биологического поглощения, введенного Б.Б. Польшовым. КБП, в отличие от «биофильности», оперирует не содержанием химического элемента в сырой массе живого вещества, а содержанием в зольном остатке. Таким образом, КБП, в отличие от биофильности, не рассматривается для «не зольных» элементов (C, N, H, O, S). Также КБП отличается от «биофильности» масштабом шкалы (но в тех же безразмерных единицах) и некоторой вариативностью, связанной с разным влагосодержанием и разной зольностью в биологических объектах. Порядок химических элементов в ранжированных по убыванию рядах и для КБП, и для «биофильности» не зависит от масштаба шкал и должен сохраняться.

Заметим также, что большая «обобщенность» биофильности по сравнению с усредненными КБП лишь кажущаяся. При корректной представительной выборке для «всего живого вещества» и для «всей верхней части континентальной коры» результирующие ранжированные ряды различаться не будут. В 1950-е годы, когда работал Б.Б. Польшов, надежных данных по среднему составу земной коры и живого вещества суши еще не было, поэтому он крайне осторожно относился к глобальным обобщениям.

Табл. 1

Ряды биологического поглощения Б.Б. Польшова с поправками А.И. Перельмана [16]

Химические элементы	Интенсивность накопления	Коэффициент биологического поглощения (КБП)				
		100n	10n	1n	0,1n	(0,1–0,01)n
Биологического накопления	Энергичное	P, S, Cl, Br, J				
	Сильное		Ca, Na, Sr, Zn	K, Mg, B, Se		
Биологического захвата	Слабое накопление и средний захват			Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra		
	Слабый и очень слабый захват				Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd	

С поправками А.И. Перельмана [16] ряды биологического поглощения выглядят, как показано в табл. 1, где химические элементы разбиты на пять частично перекрывающихся групп.

ПОИСК СМЫСЛОВ

Давайте разберемся, какие скрытые смыслы содержатся в понятиях КБП, «биофильность» и любых других аналогичных коэффициентах распределения. Можно ли просто проранжировать элементы по их кларкам в живом веществе, как это сделал Вернадский, распределяя элементы по декадам [1]? Выражал бы такой ранжированный ряд «потребность» живого вещества в том или ином элементе или же «фактическое наличие» элементов в живом веществе?

Однако понятия КБП и «биофильность» включают в себя дополнительный концептуальный смысл, который не всегда ясно виден. Он состоит в том, что элементный состав живого вещества формируется не только потребностью организмов в том или ином элементе, но еще и другими факторами, такими как распространенность элементов. Стремление любого элемента к рассеянию приводит к тому, что его вовлечение в живое вещество должно быть принудительным. Только в случае контакта организма с водной и воздушной возможна прямая диффузия. Кроме прямой диффузии, есть активные формы обмена с окружающей средой, в том числе поглощение пищи, для растений и простейших – активная прокачка внешних растворов через живые организмы, а внутри многоклеточных организмов – через клеточные мембраны. Следовательно, просто содержание элемента в живом веществе не обязательно пропорционально «потребности» в этом элементе, а для большинства микроэлементов оно – следствие захвата из внешней среды, пассивного или даже активного. Отсюда здравая идея – пронормировать содержание элемента в живом веществе относительно его содержания в среде.

Но содержание элементов в гидросфере, в пресных, соленых озерных, в подземных и грунтовых водах величина слишком неопределенная, сильно зависящая от конкретных условий, поэтому для определения биофильности выбран более первичный источник большинства элементов – литосфера. И, хотя литосфера не менее разнообразна по химическому составу, чем гидросфера, неявно предполагается, что на химический состав биосферы как целого оказывает влияние литосфера как целое – и в пространственном, и во временном смысле. Во временном смысле это означает, что эволюция биосферы происходила не в одном месте, а в течение длительного времени на всей земной поверхности. Соответственно, потребность биосферы в том или ином элементе унаследована от соотношения элементов в литосфере как целого. И тогда «биофильность» как раз и выражает отклонения от этого «наследования». Элементы, потреб-

ность в которых выше, чем это диктуется наследованием от литосферы, войдут в группу «биофильных». Токсичные элементы, захвату которых живое вещество активно препятствует (Be, Hg, As, Ag, U), попадут в группу дискриминантов (со слабой биофильностью). Средние позиции будут занимать либо элементы, потребность в которых приблизительно равна их естественному пассивному захвату, либо биохимически инертные элементы (Si, Al, Ti), избавляться от которых организмам нет смысла.

Трудность заключается в том, что значительная часть живого вещества мобилизует элементы вовсе не из литосферы. Если гетеротрофы наследуют свой химический состав из окружающей биомассы, сухопутные растения опосредованно, через почву, – из подстилающих пород, то практически вся биомасса гидросферы не имеет никакой прямой связи с литосферой. А ведь большинство макроэлементов получили свои биохимические функции на заре эволюции, когда вся или почти вся биосфера была сосредоточена исключительно в гидросфере, а именно в океане.

Вторая трудность, заложенная в понятие «биофильность», заключается в том, что извлекаемость элемента из литосферы в биосферу связана не только и не столько с кларком в литосфере, а в основном с геохимической подвижностью элемента. Геохимики понимали это еще в 1940-х годах [4, 14]. Естественно, что элементы с биофильностью выше единицы – это исключительно подвижные элементы атмосферы (кроме инертных газов): С, N, H, O (значения биофильности по Перельману 780, 160, 70, 1,5 соответственно). Следом за ними (биофильность около 1 и ниже) идут главные элементы (но не все) гидросферы: Cl, Br, S. Подвижность в гидросфере – это практически синоним биодоступности. Такую классификацию (воздушные мигранты, водные мигранты, микроэлементы) предлагали В.И. Вернадский [2], А.П. Виногорадов [3].

Все наиболее биоактивные элементы – это элементы, не образующие сильных связей с другими элементами. Автотрофные организмы научились разрывать связи углерода с кислородом и водорода с кислородом. На этом основан фотосинтез. Но более сильные связи алюминий-кислород, кремний-кислород, титан-кислород живой организм разорвать уже не может. Поэтому Al, Si, Ti, Fe, Zr, Sr, имея высокие кларки, остаются биохимически инертными и попадают в категорию элементов с очень низкой биофильностью (соответственно 0,0006, 0,007, 0,003, 0,002, 0,02, 0,008 [16], рис. 2). Но низкая биофильность для них получается еще и потому, что их кларки в литосфере исключительно велики (знаменатель в формуле биофильности). Химически и биологически инертные Au, Pt (биофильность обоих 0,02) оказываются более биофильными, чем упомянутые элементы. И у тех, и у других нет биохимической функции или она ничтожна; и те, и другие слабо мигрируют в растворах, но их клар-

ки в литосфере различаются на 3–4–5 порядков, и из-за этого их формальная «биофильность» радикально разная. По той же причине мышьяк (0,35) и ртуть (0,06) оказываются более биофильными элементами, чем натрий (0,008). Калий (0,12) по биофильности равен токсичному серебру (0,17). Бром (0,8) – фосфору (0,75).

Как видно из вышесказанного, логичная классификация не получается. Так, Вг и J с их слабо выраженными биохимическими функциями оказываются на две ступени выше универсальных биофилов К и Mg. Очевидно связанные Na и Cl оказываются в разных группах. Бор и селен с их так же слабо выраженной биохимической ролью, оказываются выше микроэлемента Cu. Токсичные микроэлементы As, Hg, Ra, Ag находятся выше элементов с известными биохимическими функциями (Si, Fe, V) и т. д.

Если КБП (или «биофильность» как его модификация) должны отражать некую «потребность» живого вещества в химическом элементе, большее или меньшее накопление его относительно других элементов, то в данной классификации мы этого не находим. Поэтому она представляется нам не вполне удачной и лишенной видимой внутренней логики. И значит, коэффициент биофильности выражает вовсе не то, что мы хотели бы. «Биофильность» оказывается представляющей комбинацию а) эволюционно обусловленной потребности живого вещества в данном элементе, б) его подвижности в гидросфере и в) кларка в литосфере. Причем эти три фактора могут работать в противоположных направлениях, сдвигая элемент в классификационной шкале на несколько порядков в ту или другую сторону. В такой комбинации понятие «биофильность» становится бесполезным и теоретически, и практически. Главной теоретической ошибкой, заложенной в понятия КБП и «биофильность», является то, что живое вещество заимствует свой состав вовсе не из литосферы, а из атмосферы (структурные элементы) и гидросферы. Простое интуитивное представление о том, что «если какого-то элемента больше/меньше в литосфере, то его больше/меньше в биосфере» оказывается ложным.

Интересно рассмотреть и другие концептуальные идеи, заложенные в понятия КБП и «биофильность». Уже упомянута идея о том, что обобщенный элементный состав живого вещества в большой степени наследуется от элементного состава косной среды, из которой живое вещество и берет материал для своего создания. Понятно, что если некий элемент Y вреден для живого вещества, но его в окружающей среде много, то живое вещество должно тратить энергию и ресурсы для сопротивления общей диффузии этого вещества из окружающей среды. И, напротив, если элемент жизненно необходим, но его в окружающей среде мало, то живое вещество должно тратить энергию для форсированного извлечения данного

элемента из среды. Отсюда общая мысль: наиболее энергетически выгодным будет такой состав живого вещества, который близко соответствует общему составу неживой части биосферы. В большой степени так и есть. Все элементы живого вещества, образующие «структурные» органические молекулы (С, Н, О, N, S), – это элементы атмосферы и гидросферы. В полном списке структурных элементов органики не хватает только фосфора. Фосфора мало в гидросфере и совсем нет в атмосфере. Из основных элементов атмосферы в построении живого вещества участвуют все, кроме инертных газов. Для гидросферы это также верно в очень большой степени: основные ионы гидросферы входят в живое вещество. Но есть различие. Чтобы его увидеть, нужно вспомнить, что биологически активные элементы – это три совершенно разнородные группы. Упомянутые выше «структурные» элементы образуют первую группу (С, Н, О, N, S, P). Вторая группа – это элементы, осуществляющие свою биохимическую функцию исключительно в виде ионов: Ca^{++} , K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Cl^- . Эти элементы не образуют устойчивые ковалентные связи с остальными «структурными» элементами. Это – ионы, и, что очень важно, без переменной валентности в условиях биосферы. Поэтому их биохимическая роль совершенно иная (регуляторы осмотического давления, передача сигналов, регуляция pH среды). Остальные биохимически активные элементы следует отнести к третьей группе – микроэлементов, часть из которых имеет переменную валентность. Обратим внимание, что элементы второй группы в нашей классификации – это в точности макроионы гидросферы. Особняком тут стоят такие элементы, как Н и С в том смысле, что они легко доступны живому веществу не только из атмосферных газов, но и из гидросферы в виде макроионов карбонат-гидрокарбонатного ряда.

Особо стоит рассмотреть положение серы и фосфора. Для того чтобы сера была эволюционно вовлечена в биохимические реакции, она должна присутствовать в среде в заметных количествах. В современной атмосфере содержание соединений серы ничтожно. Сероводород быстро окисляется, а сернистый газ очень быстро переходит в гидросферу. И если бы не сера и фосфор, то список «структурных» элементов живого вещества в точности соответствовал бы списку атмосферных элементов (кроме инертных газов). Так это и понимал В.И. Вернадский [2]: он классифицировал основные структурные элементы живого вещества как атмогенные (в список входили Н, О, С, N). В этом был смысл: отделить данную группу элементов от группы макроионов, характерных для гидросферы и отсутствующих в атмосфере. Однако такая трактовка оставила за пределом списка структурных элементов серу и

фосфор. Более точно будет сказать: структурные элементы – это все же элементы гидросферы, пусть и тесно связанные с атмосферой. К тому же понятно, что биохимические процессы идут только в жидкой среде. По сути дела, разница между «структурными» элементами и «макроэлементами» – это разница между ковалентными соединениями и ионными. Теперь, опираясь на изложенные теоретические положения, попробуем предложить свой вариант биогеохимической классификации элементов.

СИСТЕМА КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ КОРА–РАСТЕНИЯ

В данной работе предлагается новый подход к проблеме, заключающийся в следующем:

- вместо весовых концентраций мы предлагаем использовать величины атомной распространенности химических элементов;
- мы не рассматриваем обобщенное живое вещество Земли, равно как и обобщенное вещество суши. Вме-

сто этого мы рассматриваем только обобщенное растительное вещество суши.

Результат представлен на рис. 1.

На рис. 1 по обеим осям в логарифмическом масштабе отложены распространенности химических элементов на 1000 атомов кремния (ось A_x) и на 10 атомов кремния (ось A_y). 1000 и 10 атомов взяты лишь для удобства, на взаимную конфигурацию точек это не влияет.

На графике четко выделяются несколько групп химических элементов.

- Группа H, C, O, N. Структурные элементы, они же «атмогены» по классификации Вернадского.
- Сильные биофилы (Mg, S, P, Na, Cl, K, Ca, Br, B, Mn, Zn, Si, Sr, Cu). В список вошли два структурных элемента (S и P), группа макрокатионов и наиболее важные микроэлементы (Mg, Mn, Zn, Cu). Для одних из перечисленных элементов их биохимические функции хорошо известны, для некоторых они не очевидны (Br, Sr). Мы предполагаем, что бром не имеет сво-

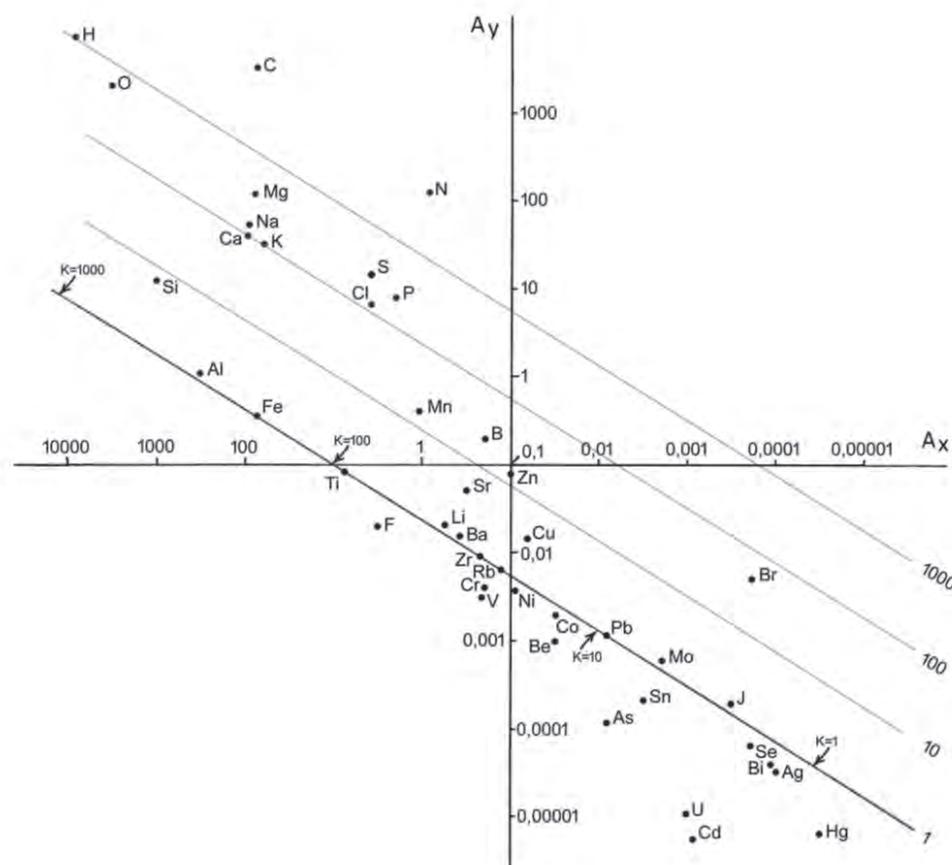


Рис. 1. Биохимическая значимость элементов. Абсцисса (A_x): атомная распространенность на 1000 атомов Si в верхней части континентальной коры [7]. Ордината (A_y): атомная распространенность на 10 атомов Si в сухопутных растениях [12, 18]. Указанные стрелками точки $K = 1 \dots K = 1000$ – биофильность в единицах атомной распространенности $= A_x/A_y$ на линии биохимической нейтральности. Наклонные линии: 1 – линия единичной биохимической значимости (линия биохимической нейтральности); линии 10–1000: кратность отклонения от единичной линии по оси A_y

ей собственной функции и проявляет себя в качестве биофила только как химический аналог хлора. Хлор в живых организмах выполняет роль электролита, не образуя ковалентных связей с углеводородным каркасом живых тканей. Вероятно, поведение брома в растениях суши не различимо с поведением хлора. То же самое предполагаем и в паре Ca–Sr. Биохимическая функция стронция хорошо известна у морских одноклеточных (скелеты радиолярий). Но для сухопутных растений такие функции не описаны. Поэтому высокая биофильность стронция для сухопутной флоры предполагается как неразличимость Ca и Sr в качестве ионов.

– Относительно инертные (биохимически нейтральные, биохимически безразличные) микроэлементы (Al, Fe, Ti, Li, Ba, Zr, Rb, Ni, Co, Pb, Mo, J, Se). Они очень точно укладываются на прямую (в логарифмическом масштабе) линию (линию биохимической нейтральности). Именно тот факт, что данные точки ложатся на прямую, и позволяет надежно выделить их в отдельную группу.

Подчеркнем, что в данном случае речь идет только о сухопутных растениях. Небольшие отклонения от линии нейтральности могут быть связаны с не вполне корректными данными по распространенности этих химических элементов. Некоторые из перечисленных «инертных» химических элементов имеют известные биохимические функции, в том числе и у бактерий (обитателей суши, симбионтов высших растений). Так, известна функция Mo в клубеньковых азотфиксирующих бактериях. Но следует помнить, что биомасса указанных бактерий в общей биомассе суши ничтожна. К тому же корневая система не учитывается при анализе укусов. Не должна вызывать удивления проявившаяся на графике биохимическая инертность кобальта, селена, йода. Их биохимические функции хорошо известны, но в основном для высших животных или морских растений (J). Особое положение у железа. Железо входит в состав многих универсальных ферментов (например, каталаз), присутствующих и у животных, и у растений, и у бактерий. Тем не менее, Fe находится на линии нейтральности. Объяснить это можно тем, что железо – один из самых распространенных химических элементов. Пассивный захват с избытком обеспечивает растения необходимым им количеством этого элемента. Поэтому у растений нет необходимости в дополнительных механизмах его концентрирования.

– Общеядовитые химические элементы и элементы-дискриминанты занимают полосу ниже линии инертных элементов (Bi, Ag, F, Cr, V, Be, Sn, As, Hg, U, Cd). Возможно, некоторые химические элементы в ряду токсичных выглядят неожиданно (Cr, V, Sn). Но вряд ли это связано с неточностью исходных данных. Остальные из перечисленных хорошо известны сво-

ими токсическими свойствами. Например, бериллий, как ядовитый аналог магния, фитотоксичен, поскольку ингибирует фосфатазы (существуют и другие механизмы его токсичности). Вероятно, в данный список попал бы и Ra, но данные по его распространенности в биосфере ограничены.

ОБСУЖДЕНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНЦЕПЦИИ

Понятия «сильные биофилы», «токсичные элементы» не новы и интуитивно понятны в любом контексте. Понятие о «биохимически нейтральных» элементах вводится здесь впервые. Следует разъяснить его более четко. Как видно из вышеизложенного, в группу «нейтральных» попадают элементы, которые не концентрируются и не элиминируются специальными механизмами, а полностью определяются диффузией или механическим захватом из окружающей среды. «Нейтральность» не обязательно означает биохимическую безразличность, как это видно на примере железа (входящего в состав многих ферментов). Также следует подчеркнуть, что представленные на рис. 1 точки отражают статистические данные из очень больших выборок. Про большинство химических элементов можно сказать, что их нейтральность/токсичность зависит от: а) химической формы элемента; б) от диапазона его концентраций; в) от того, к какому таксону относятся данные. Понятно, что разные формы одного и того же элемента могут иметь радикально разную токсичность, что в пиковых концентрациях токсичность проявляется, а в фоновых нет, что токсичность одних и тех же элементов для микробиоты, высших растений, низших и высших животных будет разная. Наконец, существуют эндемичные виды, толерантные к высоким концентрациям того или иного элемента. На рис. 1 подразумеваются большие выборки только растений суши с типичными для них концентрациями элементов в привычных для них химических формах. Экстремальные концентрации, не типичные формы, редкие эндемичные виды, хотя и попадают в выборку, практически никак статистически не влияют на результат.

Итак, получена внутренне не противоречивая классификация химических элементов по их биохимической роли в растительном веществе суши. Она заметно отличается от рядов биологического поглощения, предложенных Б.Б. Польшовым и А.И. Перельманом.

Указанные классификации построены на разных выборках. В целях большей универсальности у А.И. Перельмана взято все живое вещество планеты, в нашем случае – лишь растительность суши. Но отметим, что биомасса суши в 280 раз больше биомассы океана ¹, а среди биомассы суши масса растений со-

¹ <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/life/distribution-biomass-planet/>

ставляет 99,2%. Таким образом, различие между двумя исходными выборками невелико.

Классификация получена, фактически, графическим путем. Линия биохимической нейтральности, на которой лежат «биохимически безразличные химические элементы», является прямой линией лишь в логарифмических координатах по обеим осям. В обычных декартовых координатах эта линия будет некоей монотонной функцией (которую мы аппроксимируем степенной функцией). По этой причине линия нейтральности не является линией одинаковой «биофильности» (линии равной «биофильности» – линейные функции по определению). «Биофильность» химических элементов на линии нейтральности убывает на два порядка (показано маленькими стрелками): от 8 у алюминия до 750 у йода. В этом и состоит причина несоответствия предыдущих классификаций: Б.Б. Полюнов и А.И. Перельман классифицировали химические элементы по убыванию КБП и «биофильности».

Разница между понятиями «биофильность» и «биохимическая значимость» видна при сравнении рис. 1 с рис. 2. На обоих графиках одинаковые системы координат. Линия единичной биофильности на рис. 2 по определению является биссектрисой между осями координат, остальные линии изо-биофильности ей параллельны. Линия единичной биохимической значимости не параллельна биссектрисе.

Концепция «биофильности», равно как и концепция рядов биологического поглощения, опирается на идею о том, что состав живого вещества в основном отражает химический состав окружающей/питающей среды. Любое обогащение или обеднение живых тканей неким элементом означает, что организм затрачивает энергию на его концентрирование или, наоборот, на его элиминирование. Обогащение живых тканей тем или иным химическим элементом объясняется повышенной «потребностью» в этом химическом элементе или его соединении. Обеднение относительно других химических элементов означает, что живое вещество избавляется от излишков токсичных элементов. При данном подходе вычисленная «биофильность» как раз и должна выражать степень такой «потребности» в химическом элементе. Но, как мы увидели выше, понятие «биофильность» не несет того смысла, который в нем подразумевался.

Поскольку при новом подходе формальная «биофильность» теряет свой концептуальный смысл, нужен новый термин, выражающий «потребность» живого вещества (растительности суши) в том или ином химическом элементе. Предлагается новый термин «биохимическая значимость химического элемента», определяемая как кратно выраженная степень отклонения от линии биохимической нейтральности. При этом сама линия нейтральности оказывается «линией единичной биохимической значимости». Кратность

отклонения показана на рисунке прямыми, параллельными линии единичной биохимической значимости (линии биохимической нейтральности). Например, К, Са и Сl имеют приблизительно одинаковое 100-кратное отклонение. Их биохимическая значимость для сухопутных растений одинакова. При этом формально вычисленная «биофильность» для калия будет равна 490, для кальция – 385, а для хлора – 1300. Поэтому в старой классификации эти элементы попали в разные категории.

По этой же причине в старой классификации Б.Б. Полюнова биохимически нейтральные химические элементы разбросаны по разным группам «рядов биологического поглощения».

Степенные функции в логарифмическом масштабе по обеим осям превращаются в прямые линии. Но многие монотонные функции также спрямляются до близких к линейным. Поэтому установить, какой именно математической функции соответствует полученная линия нейтральности, затруднительно, поскольку для этого потребовались бы абсолютно точные координаты точек. Закон распределения биохимически нейтральных элементов в зависимости от кларка в подпочвенном субстрате остается не вскрытым. Поэтому мы воспользуемся аппроксимацией. Вероятно, наилучшую точность даст степенная функция $y = kx^a$, где $0 < a < 1$. Подбор дает удовлетворительную аппроксимацию функцией $y = 1,5x^{0,7}$.

Можно предложить непрерывный ряд по убыванию биохимической значимости. Группа I: структурные элементы (ковалентно связанные элементы каркаса живого вещества: Н, С, О, N, S, P); группа II: макроионы и микроэлементы; группа III: биохимически нейтральные химические элементы; группа IV: дискриминанты и общеядовитые элементы. Приводим общий убывающий ряд для сухопутных растений (фигурными скобками выделены нейтральные элементы с достаточно близкой биохимической значимостью, близкой к 1). В круглых скобках указана кратность атомной распространенности относительно линии нейтральности:

$$\begin{aligned} & \text{C}(9000) = \text{N}(6000) = \text{H}(3000) = \text{O}(500) > \text{Mg}(300) = \\ & \text{S}(250) = \text{P}(200) > \text{Na}(130) = \text{Cl}(125) = \text{K}(100) = \text{Ca}(100) > \\ & \text{Br}(45) > \text{B}(20) = \text{Mn}(15) = \text{Zn}(15) > \text{Si}(6) = \text{Sr}(5) = \text{Cu}(3,5) \\ & > \{\text{Li}(1,3) = \text{Ba}(1,3) = \text{Mo}(1,3) = \text{J}(1,2) = \text{Al}(1,2) > \text{Fe}(1) = \\ & \text{Ti}(1) = \text{Zr}(1) = \text{Rb}(1) = \text{Pb}(1) > \text{Ni}(0,7) = \text{Co}(0,7) = \text{Se}(0,6)\} \\ & > \text{Bi}(0,5) = \text{Ag}(0,5) = \text{Cr}(0,45) = \text{Be}(0,45) = \text{F}(0,4) = \text{V}(0,4) \\ & = \text{Sn}(0,3) > \text{Hg}(0,2) > \text{As}(0,1) > \text{U}(0,035) > \text{Cd}(0,025) \end{aligned}$$

Следует отметить, что величины биохимической значимости, формально вычисленные для атмосферных элементов (С, N, H, O), не несут какого-либо смысла, поскольку их основной резервуар для биоты находится в атмосфере, а не в земной коре. Тем не менее, эти химические элементы здесь представлены как элементы наивысшей биохимической значимости.

Их биохимическая значимость принимается как равная, несмотря на разницу в их формальных значениях. Внутри ряда можно выделить группы по несколько элементов с очень близкими значениями (обозначено через знаки равенства).

Можно сравнить этот ряд с рядами биологического поглощения (табл. 1) и убедиться, что эти убывающие ряды отличаются значительно.

Важным отличием предлагаемого графического построения является использование атомных распространенностей элементов вместо их весовых содержаний. В биохимических процессах атомные веса не играют заметной роли, а играют роль стехиометрические отношения атомов. Вес атомов варьирует от 1 а. е. у водорода до 238 а. е. у урана. Это означает, что в том же двойном логарифмическом масштабе, но в единицах весовых процентов точки могут сме-

щаться в координатном поле более чем на два порядка по сравнению с единицами атомной распространенности (вдоль линий равной биофильности на рис. 2). Хотя вычисленная «биофильность» будет одна и та же в обоих случаях, линейность расположения биохимически нейтральных элементов исчезает. На рис. 2 приводится поле точек из работы [16], на котором биохимически нейтральные элементы мы отметили особо. Видно, что в координатах весовых процентов они образуют полосу, в которой увидеть прямую линию не представляется возможным.

Еще одна причина потери линейности заключается в том, что на рис. 2 были использованы средние данные по всему живому веществу планеты, включая морскую флору и фауну. Это значительная ошибка при учете того, что континентальная кора не является непосредственным резервуаром элементов для морской биоты.

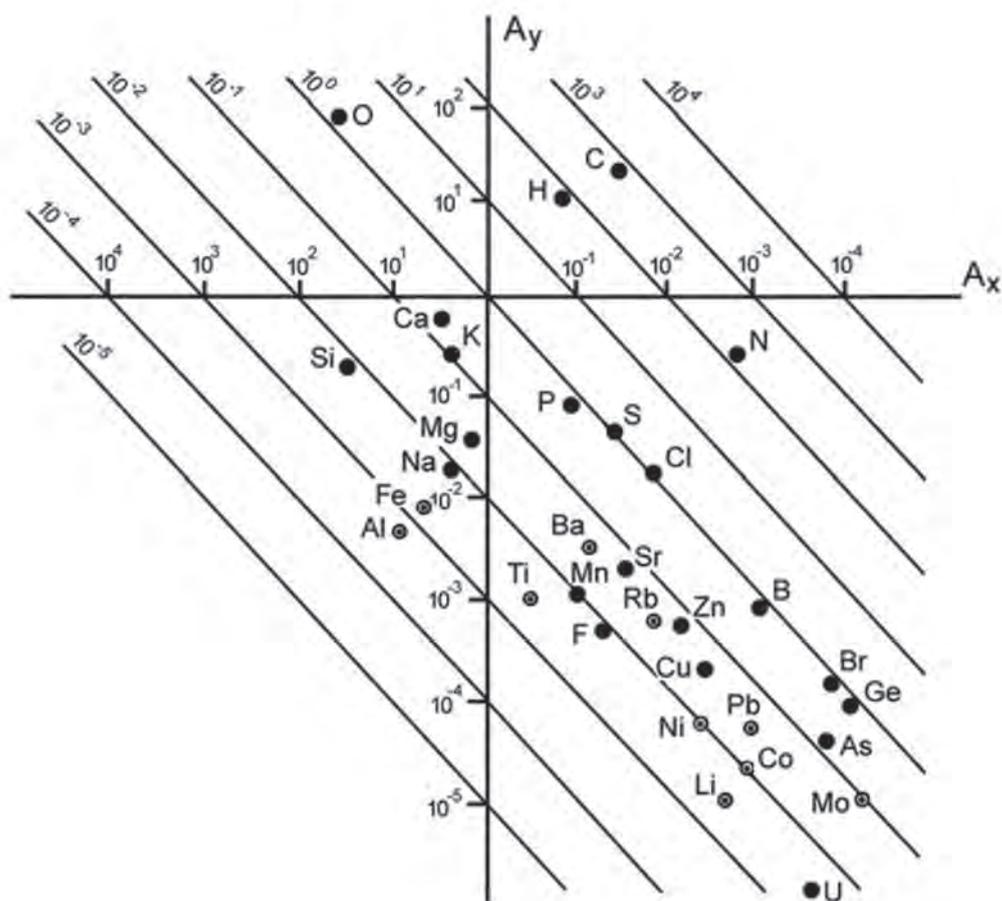


Рис. 2. Биофильность химических элементов по А.И. Перельману [16]. Абсцисса (A_x) – кларки элементов в земной коре, вес.%. Ордината (A_y) – кларки в живом веществе планеты, вес.%. Кружки с точками внутри – биохимически нейтральные элементы. Наклонные – линии одинаковой биофильности

РОЛЬ РАСТВОРИМОСТИ

Важный, до сих пор спорный вопрос связан с разной гидрохимической подвижностью элементов. Если исходить из того, что растения поглощают химические элементы не непосредственно из подстилающих горных пород, а из почвенных растворов, то возникает вопрос об их разной биодоступности. Произведения растворимости минералов могут различаться на десятки порядков. Следовательно, интенсивность перехода элементов в почвенные растворы и должна быть главным фактором усвоения их растениями. О каком же соответствии между кларком в земной коре и кларком в растениях вообще может идти речь? В литературе можно найти множество свидетельств как того, что содержание в растениях коррелирует с содержанием в почвах/подстилающих породах, так и того, что содержание в растениях коррелирует с содержанием в почвенных растворах. Примером первого подхода можно назвать работу Т.А. Зениной [14]. Примером второго – работу В.С. Савенко [19]. Эти два взгляда находятся в противоречии.

Особый взгляд на проблему отстаивал Б.Б. Польшов [17]. Принимая как факт сильную корреляцию между составом почвенных вод и составом растений, он поменял местами причину и следствие. Согласно его воззрениям, химический состав наземных природных вод формируется как раз преимущественно в почвенной среде. При этом именно биота, а не процессы химического растворения формируют их гидрохимический облик. Соответственно, именно между составами почвенных вод и произрастающих на них растений будет наблюдаться наиболее сильная корреляция.

Спор между сторонниками этих внешне противоречащих друг другу концепций не прекращается уже много десятилетий. Приведенные работы лишь очень малая часть обширной литературы на эту тему. Не вдаваясь в подробный анализ, тем не менее, попробуем высказать идею, примиряющую два или даже все три упомянутые подхода.

В качестве примера рассмотрим такие химические элементы, как Ti (кларк в континентальной земной коре 0,39 вес.%) и Zr (кларк 0,016 вес.%). Оба кларка весьма высокие. При этом оба элемента слабо подвижны в гидросфере, что отражается в довольно низких позициях в ряду коэффициентов водной миграции [13]. Их значения: Ti (0,005) и Zr (0,017). Сравним их с таким элементом, как фтор. Кларк F в континентальной коре (0,066 вес.%) находится между кларками титана и циркония. А коэффициент водной миграции значительно выше: 1,6. Можно было бы ожидать, что КБП малоподвижных Ti и Zr будет существенно ниже, чем у гораздо более подвижного F. Тем не менее, все три элемента находятся на линии биохимической нейтральности или близко к ней (рис. 1). Это

выглядит так, как если бы растворимость элементов не влияла на захват живым веществом растений. Каким же образом они получают возможность перехода в биоту?

По нашему мнению, ошибочно рассматривать лишь растворимость в обычной грунтовой воде. Подпочвенная дезинтеграция пород и дальнейший их переход в раствор осуществляется благодаря корневым выделениям растений (угольная, уксусная, щавелевая и другие органические кислоты). В условиях умеренной влажности почв в прикорневой зоне могут достигаться значения pH настолько низкие, что практически все минералы, включая алюмосиликаты, переходят в раствор, за исключением кремнезема. Таким образом, растворимость в pH-нейтральных водах перестает быть решающим фактором биодоступности (как синонима растворимости). Подпочвенные породы растворяются полностью или почти полностью. Хотя можно привести и обратные примеры. В подзолистых почвах в горизонте A2 остается кремнезем, в тропических латеритах образуются мощные остаточные коры выветривания, состоящие из оксидов железа и алюминия или оксидов железа, алюминия и кремния.

Тем не менее, в большинстве почв умеренного климата можно констатировать полный вынос по всему спектру химических элементов (за исключением кремния в почвах подзолистого типа). Полный вынос подтверждается тем, что в таких почвах генетические горизонты с остаточным накоплением, подобные латеритным корам выветривания, не описаны. Расчеты по равнинным регионам с умеренным климатом Северной Америки и Евразии показывают, что скорость растворения и выноса подпочвенных пород здесь составляет порядка 20 мм за тысячу лет [6, 8]. Если бы растворение было не полным, то за 10,5 тысячи лет, минувших со времени последнего оледенения, во всех почвах Среднерусской равнины появился бы элювиальный горизонт мощностью до 20 см. Отсутствие такого горизонта свидетельствует в пользу тезиса о полном выносе подпочвенного материала в растворенном виде. А это и означает, что весь спектр элементов, содержащихся в материнских породах, проходит через стадию высокой биодоступности. Но происходит это только в области ризосферы. Таким образом, возражение о разной растворимости минералов и, как следствие, разной их биодоступности, снимается. Это и объясняет присутствие таких малоподвижных в обычных гидрохимических условиях элементов, как Ti, Fe, Al, Zr, в живых тканях.

Наша трактовка соответствует взглядам Б.Б. Польшова с добавлением тезиса о полном растворении подпочвенных пород. В то же время она не противоречит тезисам о корреляциях между содержаниями в системах подпочвенная порода–растения и почвенные воды–растения.

ТРОФИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И КОЭФФИЦИЕНТЫ НАКОПЛЕНИЯ

И снова вернемся к проблеме распределения элементов между питающей средой и организмами. В работе [14] приводятся данные о коэффициентах накопления для морского фитопланктона. Величины K_b считаются от содержания элементов в морской воде. Полученные K_b варьируют от сотен единиц (J, Cd, Ag, V, Ba) до десятков тысяч (Cu, Mn, Co, Pb, Ti, Ni) и даже до ста тысяч (Zn). Заметим, что данные по концентрациям в морской воде в разных источниках для микроэлементов различаются на несколько порядков. Связано это с тем, что биота может достаточно глубоко извлекать микроэлементы из воды, поэтому в местах скопления биоты вода обеднена ими до ничтожных значений. Взяв значения для такой «обедненной» воды, мы получим коэффициенты накопления от 10^6 до 10^8 . Если мы возьмем максимальные цифры концентраций в воде (получив минимальные оценки K_b) и даже если допустим 100%-ю извлекаемость элемента из морской воды, фитомассе надо пропустить через организмы объем воды, в десятки тысяч больший объема самих организмов. При этом среднее время жизни, например, фитопланктона, исчисляется несколькими сутками. Абсурдность такого заключения наводит на мысль, что мы совершенно неправильно представляем себе процесс концентрирования. Фитомасса вовсе не синтезирует органическое вещество «с нуля» из воды и углекислого газа (хотя может и так), а использует уже готовые органические молекулы из окружающей жидкой среды, в которых захваченные микроэлементы уже присутствуют. Но тогда микроэлементы концентрируются не конкретным индивидуальным организмом, а всей трофической цепочкой, причем *циклической*, включая гетеротрофные виды и редуценты. Бессмысленно вычислять K_b гетеротрофного организма по отношению к морской воде, если поступление любого из элементов диктуется его концентрацией в пище данного организма. Но и для автотрофных организмов (нижнее звено трофической цепи) это столь же бессмысленно, если из морской воды поступают на 2–5 порядков меньшие количества элемента, чем с извлеченными из среды и усвоенными «циклирующими» органическими молекулами. Что же тогда выражает такой K_b , найденный для некоего живого вида? Такой K_b – это один из множества промежуточных коэффициентов в циклической трофической цепочке, и он зависит не столько от содержания элемента в косной среде, сколько от длины трофической цепи и от коэффициентов в каждом ее звене. Поэтому вполне логично, что морскими биологами для описания передачи химических элементов внутри трофической цепи используется особый термин trophic transfer factor (ТТФ) [23]. Коэффициенты поглощения для разных трофических звеньев будут выражать не-

кую динамически равновесную систему круговорота элемента. Причем для этого «малого» круговорота элемента внутри живого вещества данной экосистемы можно будет указать точку входа элемента из внешней среды и канал его выхода во внешнюю среду. В стационарной (устойчивой) экосистеме масса элемента на входе будет равна массе на выходе (иначе концентрация данного элемента в живом веществе возрастала бы неограниченно). Но при этом концентрация в среде на входе (в морской воде) может отличаться на много порядков от концентрации на выходе (захороненное или вынесенное живое вещество). В каждом трофическом цикле концентрация элемента нарастает до тех пор, пока при выводе из цикла даже небольшой доли органического вещества (но при достаточно высокой концентрации в нем данного элемента) привнос уравнивается с уходом. Если предположить, что канал выхода элемента отсутствует, то в циклической трофической цепи концентрация будет возрастать неограниченно. Таким образом, степень концентрирования в цепочке зависит не только и не столько от концентрации элемента в косной среде (морской воде, почвенных породах), сколько от нормы вывода вещества из цикла. Вывод элемента из цикла в морских условиях – это не обязательно захоронение. Падение на дно океана, полная дезинтеграция материала в глубоких водах при длительности большого круговорота океанической воды в 10 тыс. лет для всего мирового океана (750 лет для Атлантического, 2500 для Тихого) также будет надежным каналом стока (с учетом того, что время существования большинства локальных экосистем меньше указанного срока). Для наземных экосистем канал выхода – это лишь в очень малой степени захоронение почв, а в основном – это жидкий сток с почвенными водами.

Из сказанного можно сделать два вывода: а) даже для одного вида организмов и при одинаковых содержаниях элемента в питающей косной среде концентрации в органике будут разными в зависимости от длины трофической цепочки, от общей биомассы трофической цепи (отношение биомасс между звеньями цепи) и от нормы выхода элемента из цепи; б) нет практического смысла вычислять один какой-либо видовой K_b , если не знать все K_b и распределения биомассы во всей трофической цепочке.

Еще один момент, который хочется отметить: для низших организмов ни для одного микроэлемента (но не макроиона) нет достоверных данных о коэффициентах поглощения $K_b < 1$. Это сводит на нет идею о том, что концентрирование элементов выражает некую «потребность в элементе». Если мы взглянем на ранжированный по убыванию ряд коэффициентов накопления для фитопланктона [14], то не увидим какой-то биохимически обоснованной закономерности. Общетокичные Pb, Cr, As, Hg для разных так-

снов находятся как на первых позициях в рейтинге концентрирования, так и в середине и в конце, при этом соседствуя с биохимически значимыми Zn, Cu и безразличными Ti, Zr, Li. Создается впечатление, что данное живое вещество концентрирует элементы вне зависимости от их биохимической роли. Включаются ли при этом специальные процессы концентрирования или элиминирования, действуют ли такие гипотетические механизмы избирательно, или же они «не различают» близкие по свойствам элементы – все это предмет для подробного обсуждения. Пока же отметим, что механизмы элиминирования существуют, но в основном для высших форм жизни (рыбы, животные), имеющих развитую систему выделения. Это не относится ни к планктонным формам в океане, ни к наземным растениям.

СИСТЕМА РАСТЕНИЯ – ЖИВОТНЫЕ СУШИ

Очевидно, что основным резервуаром химических элементов для животных суши (консументов первого порядка) является растительность суши. Разумеется, мы помним, что структурные химические элементы живого вещества поступают также из гидросферы и напрямую из атмосферы. Также мы помним, что консументы второго порядка (хищники, паразиты, часть редуцентов) имеют основным резервуаром ткани животных.

Мы вправе ожидать, что ткани консументов первого порядка (травоядных и растительноядных редуцентов) по ряду элементов могут обогащаться или обедняться относительно тканей пищи. Это может быть связано с двумя обстоятельствами.

– По сравнению с растительным царством животное царство отличается более разнообразной и более

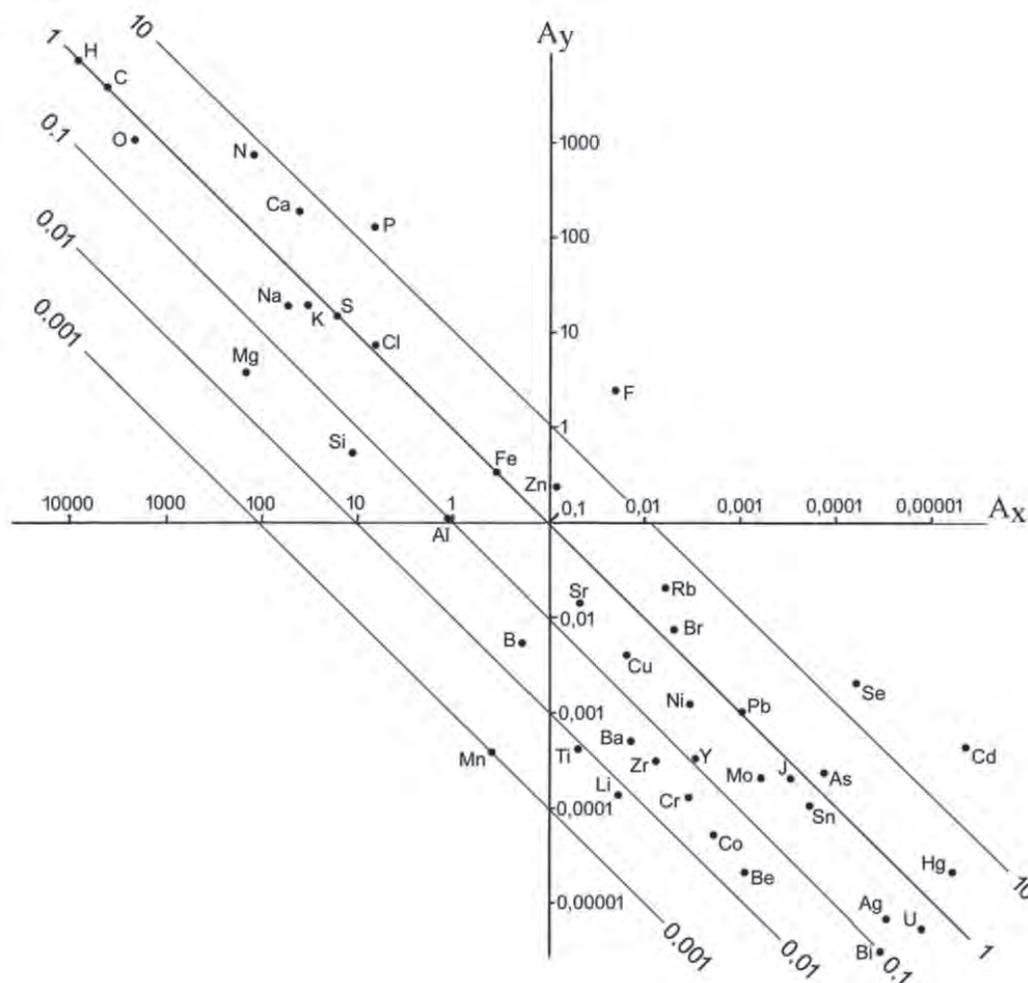


Рис. 3. Содержание химических элементов в тканях животных суши относительно их содержания в растениях суши. Абсцисса: атомная распространенность (A_x) в растениях суши. Ордината: атомная распространенность (A_y) в тканях животных суши [12, 18]. Наклонные линии: 10...0,001 – кратность обогащения тканей животных суши относительно тканей растений суши = A_y/A_x

эволюционно продвинутой биохимией, включающей новые биохимические функции ряда химических элементов.

– Механизмы захвата атомов из окружающей среды у растений и животных совершенно разные. У растений – это генерация тканей в процессе фотосинтеза с захватом атомов из окружающих жидкой и воздушной сред, прокачка почвенных растворов через растения и обогащение из них в процессе транспирации. У животных – это использование готовых растительных тканей вместе с депонированными в них микроэлементами, обогащение рядом элементов в процессе многократного усвоения пищи и обеднение в процессах выделения.

На рис. 3 в логарифмическом масштабе по обеим осям представлены атомные распространенности в растительности суши (абсцисса) и в животных суши (ордината). Наклонная линия с кратностью обогащения равной 1 объединяет те элементы, которые имеют равные атомные распространенности в обеих группах. Это H, C, O, K, S, Cl, Fe, Br, Pb, J. Предполагается, что для этих химических элементов биохимические функции для растений и животных суши не различаются.

Можно проранжировать химические элементы по убыванию степени обогащения животных суши по отношению к растениям суши. В фигурных скобках отмечена группа элементов с отклонением от единицы менее чем в два раза в обе стороны, что произвольно принято за незначительное обогащение/обеднение:

F(140) Cd(100) Se(34) P(22) Ca(6) N(5,1) Hg(3,8) Rb(3, 4) Zn(3, 2) {As(1, 7) Br(1, 5) Cl(1, 4) J(1, 4) Sb(1, 2) H(1, 1) C(1, 1) S(1) Fe(0, 8) Pb(0, 8) K(0, 7) O(0, 6) Sn(0, 6)} Ni(0, 4) Sr(0, 35) U(0, 34) Na(0, 3) Mo(0, 3) Cu(0, 24) Ag(0, 2) Al(0, 1) V(0, 1) Bi(0, 07) Si(0, 05) Cr(0, 04) Zr(0, 04) Mg(0, 03) Co(0, 03) Ba(0, 03) B(0, 02) Be(0, 02) Li(0, 006) Ti(0, 006) Mn(0, 0008)

Данный ряд вовсе не отражает «степень полезности» элементов для животных суши. Он отражает *изменение* их биохимических функций в животных суши по сравнению с растительностью суши. В качестве очевидных примеров можно привести Ca и P, роль которых существенно возросла для животных с фосфатным скелетом. Вероятно, сюда же можно отнести и F как изоморфную примесь в гидроксилapatите $Ca_{10}(PO_4)_6(OH,Cl,F)_2$, образующем костную ткань. Обратным примером служат Mg и Mn, важнейшие элементы фотосинтеза, но имеющие меньшее биохимическое значение в царстве животных (Mg является медиатором мышечных сокращений; Mn входит в ряд ферментов [13]). Как следствие – их концентрация уменьшилась на 2–3 порядка. Другими очевидными примерами служат Si, накапливающийся в опорных тканях злаков и потерявший какое-либо значение в тканях животных, и N, усиливший свое значение бла-

годаря увеличению роли белков в животных тканях. Биохимия Cl и Br у животных и у растений осталась не различимой. Оба этих элемента остаются на единичной линии обогащения.

Напротив, роли Ca и Sr, не различимые у растений, в животном царстве разошлись в противоположном направлении. Если Ca в растениях играл роль в регуляции метаболизма и как сигнальный ион при открытии/закрытии устьиц растений, то у животных роль кальция значительно расширилась. Кроме упомянутой выше роли как важнейшего элемента скелета, это и сигнальная функция ионов Ca, и участие в процессах свертывания крови, и в секреции гормонов, и в нейрорегуляции. Суммарно это дает концентрирование в животных тканях в шесть раз по сравнению с растениями суши. Стронций, напротив, стал нежелательным элементом, прежде всего как опасная изоморфная примесь в фосфатно-кальциевом скелете (увеличивает ломкость костей). Итог: его содержание в тканях животных уменьшилось в три раза.

Бор, важный микроэлемент в растениях суши, утратил какое-либо значение в животном царстве. Бор критически необходим для роста и развития всех высших растений. Его основная функция заключается в укреплении и поддержании целостности мембран клеток [5] и клеточных органелл. Для животных суши до сих пор не названо ни одной конкретной биохимической функции с участием бора. Он не входит в список необходимых микроэлементов животных и человека. Это отражено и в наших данных: концентрация бора в животных в 50 раз меньше, чем в растениях. Такая цифра говорит об активном элиминировании бора как нежелательного элемента животными организмами.

Неоднозначную картину мы видим в правом нижнем квадранте рис. 3. Здесь сосредоточены все так называемые тяжелые металлы (ТМ) и металлоиды. Если в растениях суши Zn и Cu были важными микроэлементами, а остальные элементы с низкими кларками располагались на линии биохимической нейтральности или под ней (рис. 1), то у животных картина сильно изменилась. В число дискриминантов вместе с ТМ попали такие биохимически безразличные элементы, как Ti, Zr, Li, Ba. Сюда же попали элементы, для которых у животных известны биохимические функции: Cu (дыхательная цепь митохондрий, супероксиддисмутаза), Co (входит в состав кофермента B_{12}), Mo (входит в состав некоторых оксидоредуктаз) [13]. Такой, очевидно токсичный ТМ, как Pb, остался на единичной линии. А такие общедовитые элементы, как Hg, As, Cd, даже попали в полосу концентрирования. Дать точное объяснение данным фактам мы пока не беремся. Выскажем лишь такую мысль: предположительно, в животных организмах суши нет механизмов селективного концентрирования для каждого отдельного элемента. Такие механизмы захватывают

сразу группы элементов, сходных по заряду, ионному радиусу, химическим свойствам. Эти механизмы могут регулироваться: усиливаться или ослабляться в зависимости от достатка нужных организму микроэлементов. При этом внутрь организма вместе с ними могут попадать и токсичные элементы. Все токсичные элементы имеют очень низкие кларки в земной коре, иначе живое вещество к ним бы приспособилось. Вовлечение их в биосферу затрудняется барьерными механизмами еще на стадии роста растений. Поэтому очень низкие концентрации этих элементов в растительной пище позволяют животным их не только не элиминировать, но даже до определенных пределов и концентрировать без токсического эффекта. Следовательно, здесь нет противоречия между токсичностью и концентрированием, поскольку это концентрирование «вынужденное».

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Коэффициенты накопления или коэффициенты распределения в самых разных модификациях широко используются как отечественными, так и зарубежными авторами. Литература по данной теме обширна, поэтому приведем в качестве обзора лишь несколько примеров. В англоязычной литературе широко используются термины и понятия, аналогичные нашему КБП: bioconcentration factor (BCF), bioaccumulation factor (BAF) – для биоты в водных средах; biota-sediment accumulation factor (BSAF) – для системы твердый субстрат–биота [24, 25, 27]. Для описания передачи химических элементов внутри трофической цепи используется термин trophic transfer factor (ТТФ) [23]. Применяются эти коэффициенты для локальных объектов. Обобщений на всю биосферу или крупные таксоны, подобных понятию «биофильность», нами в англоязычной литературе не встречено. В таких подробных монографиях, как [28] или [22], подобные термины не упоминаются.

Многочисленны публикации, касающиеся BAF и ТТФ в морских экосистемах, особенно в связи с явлением биомагнификации (увеличение концентрации элемента вверх по трофической цепи) [23]. Используется также термин biomagnification factor (BF), подобный термину ТТФ. Аналогичные работы есть и в отечественной литературе [9]. Для моллюсков, червей, высших животных в связи с биоаккумуляцией предпринята попытка классификации элементов по признакам гидрофобности и липофильности их органических соединений [26].

Для наземных экосистем детально рассмотрены процессы на контакте ризосфера–грунт. На стыке биогеохимии и физиологии растений изучены процессы поглощения химических элементов корневой системой растений, приводятся соответствующие коэффициенты BSAF. При этом растения с помощью

корневых выделений управляют сорбцией-десорбцией соединений элементов с поверхности почвенных минералов, а также процессами деструкции почвенных пород [29]. Рассматриваются и коэффициенты накопления почвенными позвоночными [21].

Теоретические и методические проблемы использования коэффициентов накопления не остались незамеченными, поэтому многие авторы стараются описывать распределение элементов в экосистемах не в терминах коэффициентов распределения/накопления, а в абсолютных цифрах – как систему резервуаров и потоков между этими резервуарами [10]. Такие описания полнее описывают экосистему, но они и сложнее, поскольку требуются абсолютные количества (запасы) элемента на единицу площади/объема или в целом ландшафте, а такие данные всегда являются результатом вычислений, обычно с невысокой точностью. Таким образом, две указанные альтернативы описания экосистем могут быть предпочтительными в зависимости от поставленных задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщающие литературные данные о биохимической роли элементов в биосфере страдают общим недостатком: отсутствием детальности в рассмотрении этой роли в разных таксонах биосферы. Это и понятно: пока мы владем лишь фрагментарными сведениями по биохимии отдельных животных видов. В лучшем случае даются данные по очень крупным группам живого вещества: фитопланктон, животные моря, растения суши, животные суши. Между тем, биохимия животных суши и моря, высших животных в особенности, крайне разнообразна. Эволюционно более поздно возникшие биохимические функции закрепляются только на восходящих ветвях филогенетического древа живого. Среды, в которых возникли данные функции, могли значительно различаться в геохимическом плане. Поэтому биохимическая роль ряда элементов должна рассматриваться на более широких или более узких таксономических пространствах в зависимости от биохимической истории того или иного химического элемента. Иначе мы будем впадать в «ошибки обобщения». В качестве примеров можно привести йод, концентрирующийся в морских водорослях, а также играющий известную биохимическую роль у млекопитающих (в гормонах щитовидной железы). Отсюда частая ошибка о значительной роли этого элемента в живом веществе вообще. Из наших материалов видно, что биохимическая роль этого элемента как для растений суши, так и обобщенно для животных суши, количественно не велика (что не отменяет факт необходимости данного элемента) [20]. Второй пример – свинец. Элемент, токсичный для высших животных, относящийся к группе ТМ, традиционно относится к «опасным» в экосистемах.

Из наших данных видно, что и это ошибка: для расте- ний суши это в целом безразличный элемент, а для животных (при обычных в природных экосистемах концентрациях) он не является даже дискриминан- том. Этот тезис не отменяет его возможной токсиче- ской роли, однако роль эта практически всегда тех- ногенного происхождения, а в природных системах в масштабах всей суши механизмы элиминирования свинца не проявляются.

Представленные нами «ряд биохимической зна- чимости» и ряд обогащения в системе «растения

суши» – «консументы суши первого порядка» на язы- ке цифр показывают биохимическую роль химиче- ских элементов. Те же данные, представленные в виде графиков, помогут более наглядно понять биогеохи- мическое поведение химических элементов на грани- це «среда»–«живое вещество».

Работа выполнена по государственному заданию ла- боратории биогеохимии окружающей среды Инсти- тута геохимии и аналитической химии им. Вернадско- го Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Вернадский ВИ. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры. В кн.: В.И. Вернадский. Биогеохимические очерки. 1922–1932 гг. М.-Л.: Изд-во АН СССР; 1940.
2. Вернадский ВИ. Труды по геохимии. М.: Нау- ка; 1994.
3. Виноградов АП. Введение в геохимию океана. М.: Наука; 1967.
4. Виноградов АП. Биогеохимические провин- ции. Избранные труды. Геохимия изотопов и проблемы биогеохимии. М.: Наука; 1993.
5. Волков ВВ. Пятый элемент. Биосфера. 2013;5(2):223-33.
6. Гаррелс Р, Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. Мир; 1974.
7. Григорьев НА. Среднее содержание химиче- ских элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры. Геохи- мия. 2003;(7):785-92.
8. Дегтярев АП. Фосфор в биосфере и для чело- вечества: на пороге глобального голода. Био- сфера. 2023;15(3):167-83.
9. Демина ЛЛ. Количественная оценка роли живо- го вещества в геохимической миграции микро- элементов в океане. Геохимия. 2015;(3):234-51.
10. Демина ЛЛ, Лисицын АП. Сравнитель- ная оценка роли глобальных биологических фильтров в геохимической миграции микро- элементов в океане. Доклады Академии наук. 2013;449(6):710-4.
11. Добровольский ВВ. География микроэлемен- тов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль; 1983.
12. Ермаков ВВ, Тютиков СФ, Сафонов ВА. Био- геохимическая индикация элементов. М.: Изд- во РАН; 2018.
13. Ермаков ВВ, Тютиков СФ. Геохимическая эко- логия животных. М.: Наука; 2008.

14. Зенина ТА. Коэффициенты биологического по- глощения рассеянных элементов растительно- стью суши. Геохимия. 1986;(3):402-6.
15. Перельман АИ. Геохимия ландшафта. М.: Выс- шая школа; 1975.
16. Перельман АИ. Геохимия. М.: Высшая школа; 1989.
17. Польшов ББ. Избранные труды. М.: Изд-во Академии наук; 1956.
18. Романкевич ЕА. Живое вещество Земли (био- геохимические аспекты проблемы). Геохимия. 1988;(2):292-306.
19. Савенко ВС. Распределения химических эле- ментов в системе вода-порода как фактор фор- мирования состава растительного покрова. В кн.: Замана ЛВ, Шварцев СЛ, ред. Геологиче- ская эволюция взаимодействия воды с горны- ми породами. Материалы третьей Всероссий- ской научной конференции с международным участием. 2018. С. 170-3.
20. Строев ЮИ, Чурилов ЛП. Самый тяжелый эле- мент жизни (к 200-летию открытия йода). Био- сфера. 2012;4(3):313-42

Общий список литературы/References

1. Vernadskiy VI. [Chemical composition of the animate matter as associated with the Earth's crust chemistry]. In: Vernadskiy VI. Biogeokhimicheskiye Oчерki. 1922–1932 gg. Moscow-Leningrad: AN SSSR; 1940. (In Russ.)
2. Vernadskiy VI. Trudy po Geokhimii. Moscow: Nauka; 1994. (In Russ.)
3. Vinogradov AP. Vvedeniye v Geokhimiyu Okeana. Moscow: Nauka; 1967. (In Russ.)
4. Vinogradov AP. Biogeokhimicheskiye Provintsii. Izbrannyye trudy. Geokhimiya Izotopov i Problemy Biogeokhimii. Moscow: Nauka; 1993. (In Russ.)

5. Volkov VV. [Fifth element]. *Biosfera*; 2023;5(2):223-33. (In Russ.)
6. Garrels RM, Mackenzie FT. *Evolution of Sedimentary Rocks*. N-Y; 1971.
7. Grigoryev NA. [Average content of chemical elements in rocks composing the upper part of the continental crust]. *Geokhimiya*. 2003;(7):785-92.
8. Degtyarev AP. [Phosphorus in biosphere and for the humankind: on a threshold of global famine]. *Biosfera*; 2023;15(3):167-83. (In Russ.)
9. Diomina LL. [Quantitative assessment of the role of living matter in the geochemical migration of trace elements in the ocean]. *Geokhimiya*. 2015;(3):234-51.
10. Diomina LL, Lisitsin AP. [Comparative assessment of the role of global biological filters in the geochemical migration of trace elements in the ocean]. *Doklady Akademii Nauk*. 2013;449(6):710-4. (In Russ.)
11. Dobrovolskiy VV. *Geografiya Mikroelementov*. Globalnoe Rasseyaniye. Moscow: Mysl; 1983. (In Russ.)
12. Yermakov VV, Tiutikov SF, Safonov VA. *Biogeokhimicheskaya Indikatsiya Elementov*. Moscow: Izdatelstvo RAN; 2018. (In Russ.)
13. Yermakov VV, Tiutikov SF. *Geokhimicheskaya ekologiya zhivotnykh*. Moscow: Nauka; 2008. (In Russ.)
14. Zenina TA. [Biota-sediment accumulation factors of trace elements of land vegetation]. *Geokhimiya*. 1986;(3):402-6. (In Russ.)
15. Perelman AI. *Geokhimiya Landshafta*. Moscow: Vysshaya shkola; 1975. (In Russ.)
16. Perelman AI. *Geokhimiya*. Moscow: Vysshaya shkola; 1989. (In Russ.)
17. Polynov BB. *Izbrannye Trudy*. Moscow: Izdatelstvo Akademii Nauk; 1956. (In Russ.)
18. Romankevich YeA. [Living matter of the Earth (the biogeochemical aspects of the problem)]. *Geokhimiya*. 1988;(2):292-306.
19. Savenko VS. [Distribution of chemical elements in the water-rock system as a factor in the formation of vegetation composition]. In: Zamana LV, Shvartsev SL, Eds. *Geologicheskaya Evoliutsiya Vzaimodeystviya Vody s Gornymi Porodami*. Materialy Tretyey Vserossiyskoy Nauchnoy Konferentsii s Mezhdunarodnym Uchastiyem. 2018. P. 170-3. (In Russ.)
20. Stroeve YuI, Churilov LP. [The heaviest element of life (for the 200th anniversary of the discovery of iodine)]. *Biosfera*; 2012;4(3):313-42. (In Russ.)
21. Ardestani MM, Van Straalen NM, Van Gestel CA. Uptake and elimination kinetics of metals in soil invertebrates: A review. *Environ Pollut*. 2014;193(10):277-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.026>.
22. Connell DW. *Bioaccumulation of xenobiotic compounds*. 3rd ed. CRC Press, Inc.; 2018.
23. DeForest DK, Brix KV, Adams WJ. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: the inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. *Aquat Toxicol*. 2007;84:236-46. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.02.022>.
24. Department of Ecology. *Persistent Bioaccumulative Toxins*. Chapter 173-333 WAC; 2017: https://web.archive.org/web/20170209212428/http://www.ecy.wa.gov/laws-Rules/wac173333/p0407_cont_a.pdf.
25. Gobas F, Morrison HA. Bioconcentration and biomagnification in the aquatic environment. In: Boethling RS, Mackay D (eds.). *Handbook of Property Estimation Methods for Chemicals: Environmental and Health Sciences*. Boca Raton: Lewis; 2000. P. 189-231.
26. Landis WG, Sofield RM, Yu MH. *Introduction to Environmental Toxicology: Molecular Structures to Ecological Landscapes* (5th ed.). Boca Raton: CRC Press; 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315117867>.
27. McGeer JC, Brix KV, Skeaff JM, DeForest DK, Brigham SI, Adams WJ, Green A. Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment. *Environ Toxicol Chem*. 2003;22(5):1017-37.
28. Schlesinger WH, Bernhardt ES. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Elsevier; 2013.
29. Violante A, Caporale AG. Biogeochemical processes at soil-root interface. *J Soil Sci Plant Nutrit*. 2015;15:422-48.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В КОНТЕКСТЕ ТЕХНОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ

А.А. Карсаков¹, Е.И. Пономарев^{1, 2}

¹ Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»; ² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Эл. почта: metall8-8@ya.ru; evg@ksc.krasn.ru

Статья поступила в редакцию 23.11.2023; принята к печати 21.01.2024

Исследован отклик теплового состояния экосистемы севера Сибири в летний период на техногенные воздействия, проявляющийся в форме аномалий температурного поля подстилающей поверхности. Работа выполнена с использованием мультиспектральных, включая инфракрасный (ИК) диапазон, изображений спутниковой системы Landsat-7, -8/ETM+/OLI/TIRS (Enhanced Thematic Mapper Plus/Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor) на территории, находящейся под воздействием развивающейся инфраструктуры нефтегазосного комплекса в южной части Таймырского полуострова, Красноярского края (Тагуйское нефтегазовое месторождение, ТНМ). В результате предварительного анализа спектральных характеристик изучаемых объектов по композиту спутниковой сцены в каналах $\lambda = 1,560\text{--}1,660$ мкм; $\lambda = 0,845\text{--}0,885$ мкм; $\lambda = 0,630\text{--}0,680$ мкм и диапазонов вегетационного индекса растительности NDVI на исследуемом участке были выделены естественные природные и техногенные участки (с различными типифакторами воздействия), для каждого из которых анализировалось тепловое состояние (по вычисляемому показателю Land Surface Temperature, LST) в сравнении с данными для фонового ненарушенного состояния. Были сопряженно использованы долговременные ряды метеоданных о температуре приземного слоя воздуха. Показана корреляция ($R^2 = 0,35$, $p < 0,05$) между показателем LST и температурой приземного слоя воздуха летнего периода 2010–2022 годов в условиях повышения уровня техногенного воздействия на растительность и напочвенный покров. Такие изменения можно использовать в качестве дешифровочного признака при контроле масштабов техногенной трансформации экосистем. При этом относительные отклонения значений LST в условиях трансформации участков на $-5\text{--}12\%$ превышали фоновые значения. Со времени начала активного развития инфраструктуры наблюдалось закономерное снижение значений NDVI для трансформированных участков и смещение средних значений LST в область более высоких показателей. Относительное отклонение значений по сравнению с фоновыми составило $9\text{--}26\%$ для NDVI и $18\text{--}26\%$ для LST.

Ключевые слова: многозональные космические снимки, техногенная трансформация, температурное поле подстилающей поверхности, нефтегазовый комплекс, Land Surface Temperature (LST).

REMOTE MONITORING OF THE THERMAL CONDITION OF UNDERLYING SURFACE UNDER THE CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION

A.A. Karsakov¹, E.I. Ponomarev^{1, 2}

¹ Krasnoyarsk Research Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and ² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Email: metall8-8@ya.ru; evg@ksc.krasn.ru

Reported in the present paper is a study of the thermal condition of a Northern Siberian ecosystem in summer under anthropogenic impacts manifested as anomalies of mean-field underlying surface temperature. The study made use of multispectral, including the infrared (IR) range, images generated by the satellite system Landsat-7, and -8/ETM+/OLI/TIRS (Enhanced Thematic Mapper Plus / Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor) for the area impacted by the developing infrastructure of the oil-and-gas bearing basin in the south of the Taymyr Peninsular (Krasnoyarsk Region, the Tagul oil-and-gas field). A preliminary analysis of the spectral characteristics of the objects under study used a composite satellite signal in the channels $\lambda = 1.560\text{--}1.660$ μm , $\lambda = 0.845\text{--}0.885$ μm and $\lambda = 0.630\text{--}0.680$ μm and the spectral ranges of the NDVI index of vegetation. The analysis made it possible to distinguish natural intact and anthropogenically impacted areas (of different impact factors). Each such factor was analyzed with regard to its thermal condition assessed by calculating the Land Surface Temperature (LST) in comparison with data related to the intact background and with long-term series of meteorological data on the ground-air temperature. A correlation ($R^2=0,35$, $p<0,05$) has been found between LST values and air temperature in summertime of 2010–2022 under increasing anthropogenic impact on vegetation and soil cover. Such changes may be used as a deciphering indicator for controlling the degree of the anthropogenic transformation of an ecosystem. The relative deviations of LST values for the plots under anthropogenic transformation were higher by $-5\text{--}12\%$ than the background values. Since the onset of the active infrastructure development, regular decreases in NDVI values related to transformed areas were occurring, and the mean LST values shifted towards higher estimates. The relative deviations from the background values amounted to $-9\text{--}26\%$ for NDVI and $18\text{--}26\%$ for LST.

Keywords: multizonal satellite images, anthropogenic transformation, mean-field underlying surface temperature, oil-and-gas industry, Land Surface Temperature (LST).

Введение

В условиях климатических изменений [9], которые особенно значимы для арктической зоны Сибири, естественные факторы трансформации экосистем усиливаются антропогенным и техногенным воздействиями. Совокупное воздействие может выступить триггером качественных изменений состояния и стабильности функционирования экосистем севера, где многолетнемерзлые грунты чувствительны к изменениям тепловых режимов поверхности и почвы [11]. В условиях интенсивного освоения арктической зоны Сибири актуален вопрос о новых подходах к контролю состояния и динамики природно и техногенно трансформированных экосистем. Данная тема широко обсуждается в публикациях [3–6, 13].

В условиях, когда температурный режим подстилающей поверхности реагирует и на изменение климата, и на совокупное антропогенное воздействие [1], можно предполагать значительные деструктивные трансформации большого процента криолитозоны Сибири. Среди факторов, которые определяют изменение температурного режима подстилающей поверхности, можно выделить следующие: снижение альбедо в результате деструкции напочвенного и растительного покровов; снижение биомассы вегетирующей растительности, регулирующей температурный и водный баланс почв; уничтожение или значительное сокращение мощности органогенного горизонта почв, выполняющего теплоизолирующую функцию; прямые техногенные и пост-техногенные воздействия и др. Формирование общего представления о пост-техногенных процессах в криолитозоне [10, 11] требует долговременной детализации на уровне типифакторов трансформации территорий и с привязкой к конкретным условиям, что выполнимо только на основе материалов спутникового мониторинга [2, 4, 13].

Цель данной работы – изучение отклика теплового состояния экосистемы севера Сибири в летний период на техногенные воздействия, проявляющийся в форме аномалий температурного поля подстилающей поверхности. Мы рассмотрели следующие аспекты: динамика температурного режима поверхности летнего периода для выделенных вариантов техногенно трансформированных ландшафтов (с различными типифакторами воздействия); корреляционная связь с температурой воздуха и относительные отклонения значений температуры земной поверхности (Land Surface temperature, LST) для рассматриваемых типифакторов по отношению к значениям фоновых участков. Работа выполнена на территории Тагульского нефтегазового месторождения (ТНМ) на юге Таймырского полуострова Красноярского края по ретроспективным материалам спутниковых съемок Landsat-7, –8 на временном интервале 2010–2022 годов.

Территория исследования

Территория Тагульского месторождения (67°20' с. ш. 83°02' в. д.) расположена в южной части Таймырского полуострова Красноярского края, граничит с Ямало-Ненецким автономным округом (рис. 1). Это самое южное и при этом активно осваиваемое месторождение среди подобных на Таймырском полуострове. На одной широте с ним находится г. Игарка, для которого доступны многолетние данные наблюдений за метеопараметрами на метеостанции (<https://rp5.ru>, дата обращения: 06.07.2023).

Территория находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), поверхностный почвенный покров формируется под действием морозного выветривания и мерзлотных деформаций в расположенном над многолетнемерзлыми породами сезонно-талом слое. Глубина сезонного промерзания грунта в данном регионе варьирует от 2,5 до 3,9 м¹.

Многолетняя среднегодовая температура воздуха в рассматриваемом районе по данным метеостанции «Аэропорт Игарка» составляет минус 8,6 °С. Средняя продолжительность безморозного периода – 83 дня. Период с отрицательными средними месячными температурами воздуха продолжается с октября по май. Летний период продолжительностью около трех месяцев (июнь–август). Среднемесячная температура воздуха в июле составляет +15,1 °С, абсолютная максимальная температура воздуха составляет +34,5 °С. Устойчивый переход температуры воздуха через 0 °С, определяющий наступление весны, происходит в конце марта–начале апреля.

Растительный покров представлен редкими лесными растительными сообществами лесотундры, занятыми в основном малорослой угнетенной лиственницей (*Larix sibirica*), березой (*Betula* spp.) и редко елью (*Picea obovata*). В долинах рек и ручьев – кустарниковая растительность. Водораздельные пространства покрыты лишайником и моховыми болотами, зарослями полярных ив (*Salix polaris*), карликовой березы (*Betula nana*), багульника (*Ledum*), морозники (*Rubus chamaemorus*) и брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) с высотой живого напочвенного покрова до 0,2–0,5 м [7].

Территория ТНМ (рис. 1) промышленно осваивается с 2014 года по настоящее время (<https://rosgeolfond.ru>, дата обращения: 06.11.2023). Из предварительного анализа материалов спутниковой съемки следует, что пик техногенных трансформаций приходится на 2016 год. При этом рост зоны промышленного освоения продолжается по настоящее время, что делает район исследований перспективным для дальнейшего мониторинга и валидации методов спутникового контроля.

¹ Свод правил СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология».

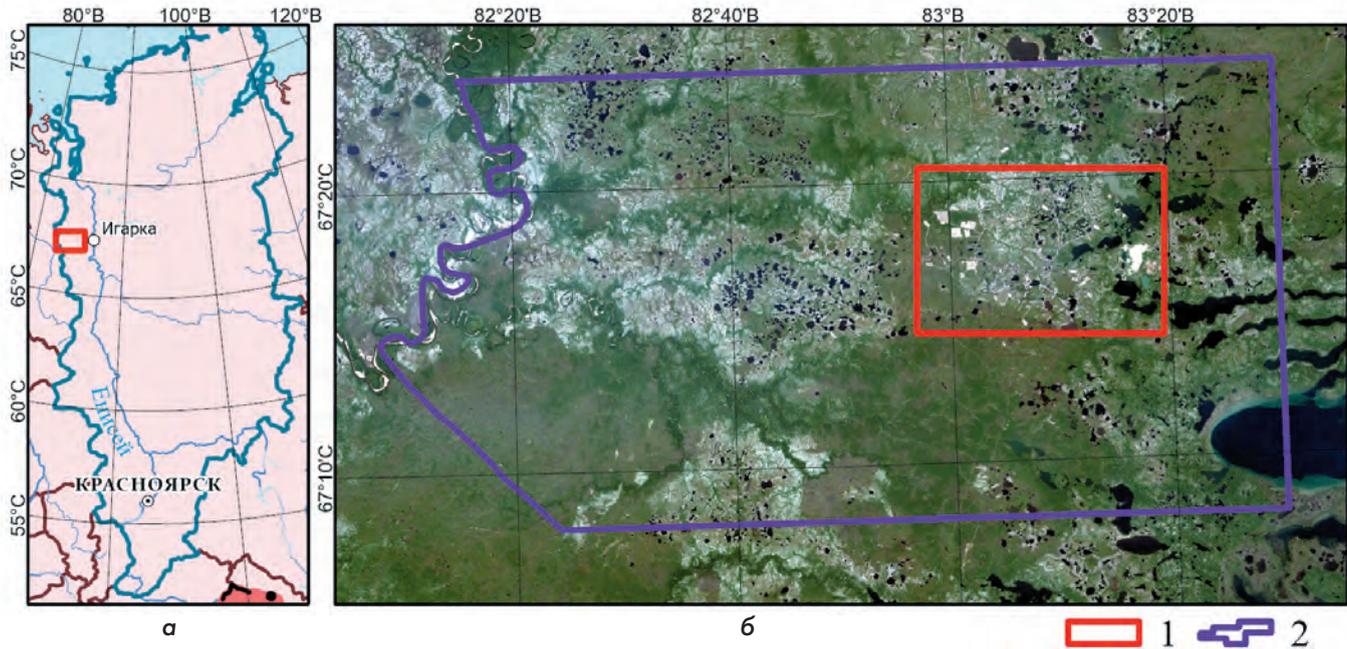


Рис. 1. Положение территории исследования: а – относительно муниципальных границ Красноярского края; б – относительно Тагульского лицензионного участка на данных Landsat-8; 1 – граница исследуемого участка ТНМ; 2 – граница Тагульского лицензионного участка (<https://rosgeolfond.ru>, дата обращения: 06.11.2023)

Материалы и методы

Состояние территории в 2010–2022 годах анализировали по данным дистанционного зондирования земли Landsat-7, -8/ETM+/OLI/TIRS (Enhanced Thematic Mapper Plus/Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor) из открытого каталога USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>, дата обращения: 06.11.2023). В работе использовались данные съемки в ближнем инфракрасном диапазоне ($\lambda = 0,63–0,69$ мкм) с разрешением 30 м, а также данные в тепловом канале ($\lambda = 10,40–12,50$ мкм) с разрешением 100 м (табл. 1).

Пространственная привязка и предварительный анализ типофакторов техногенной трансформации участка выполнялись с использованием векторных слоев границ лицензионных участков, предоставленных ФГБУ «Росгеолфонд» (<https://rosgeolfond.ru>, дата обращения: 06.11.2023).

Для стандартных продуктов Landsat Level-1 (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product>, дата обращения: 06.07.2023) начало работы со сценами включало предварительно проведенные процедуры радиометрической и спектральной коррекции [7] (рис. 2а). После чего был выполнен расчет индексов NDVI с целью последующего дешифрирования и LST.

Предварительно выполняли дешифрирование на изображениях естественных объектов с характерными спектральными признаками, а также участков с типофакторами нарушенности: 1) инфраструктур-

но преобразованные территории; 2) растительность речных долин; 3) объекты гидрографии; 4) фоновые участки, включая гидроморфные ландшафты с болотными комплексами; 5) автоморфные ландшафты с лишайниковыми типами леса; 6) участки смешанной нарушенной растительности.

В качестве дополнительного признака дешифрирования фоновых и техногенно трансформированных участков и далее при классификации изображений использовались значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (рис. 2б, в):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, \quad (1)$$

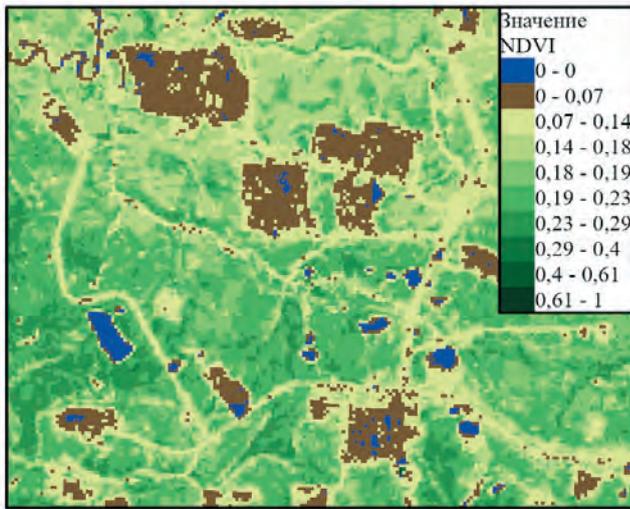
где **NIR** – отражение в ближней инфракрасной области спектра в канале с длиной волны $\lambda = 0,630–0,690$ мкм; **RED** – отражение в красной области спектра при $\lambda = 0,770–0,900$ мкм.

В зависимости от типа бортового оборудования использовали (см. табл. 1): в данных Landsat ETM+ – канал 3 (область видимого спектра, красный) и канал 4 (ближний инфракрасный диапазон); в данных Landsat OLI TIRS – канал 4 (диапазон красного цвета), канал 5 (ближний инфракрасный диапазон).

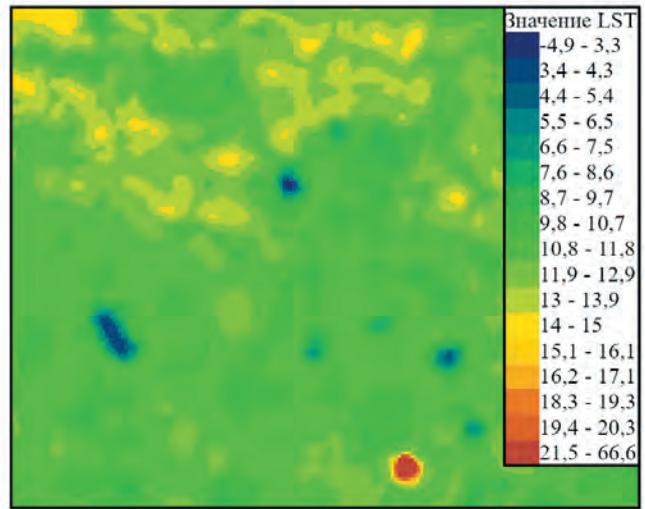
Участки, относимые по состоянию на 2022 год к классу инфраструктурных объектов, и объекты гидрографии дешифрированы пороговым методом по диапазонам NDVI: при $NDVI \leq -0,11$ выделялся класс «вода», при $-1,12 < NDVI < 0,17$ выделялись объекты

Исходная выборка съемки Landsat

Спутник/радиометр	Номер кадра Path/Row	Используемые каналы	Дата снимка
Landsat-7/ ETM+/ TIRS	155/013	4, 5, 10	16.08.2010
	154/013	4, 5, 10	25.06.2011
Landsat-8 /OLI/TIRS	155/013	4, 5, 10	04.07.2012
	153/013	4, 5, 6, 10	17.07.2013
	153/013	4, 5, 10	21.08.2014
	155/013	4, 5, 10	07.07.2016
	155/013	4, 5, 10	26.07.2017
	154/013	4, 5, 10	06.07.2018
	153/013	4, 5, 10	20.07.2020
Landsat-8	155/013	4, 5, 10	21.07.2021
Landsat-8	154/013	4, 5, 6, 10	01.07.2022



а



б

Рис. 2. Результат расчета индексов в 2022 году по данным сцены спутника Landsat-8: а) градиент значений NDVI: б) градиент значений LST

инфраструктуры. Среди остальных классов максимально близкими по диапазону значений NDVI к инфраструктуре является класс лишайники. Для выделения остальных классов применена классификация изображения с помощью обучающей выборки и предварительной сегментацией изображения. Обучающая выборка подготовлена путем визуальной интерпретации на изображении выделяемых классов подстилающей поверхности и растительного покрова.

Точность классификации растительного покрова оценивали путем визуальной верификации на основе данных спутниковой сцены WorldView-3 с разрешением 0,31 м, транслируемой компанией Махаг через протокол WMS (Web Map Service) в открытом

доступе (https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer, дата обращения: 06.11.2023).

Точность классификации класса инфраструктура выполняли с использованием коэффициента Каппа Коэна по формуле [8, 12]:

$$k = \frac{d-q}{N-q}, \quad (2)$$

где: d – число случаев правильного получения результата (сумма значений, расположенных по диагонали матрицы ошибок); q – число случайных результатов, вычисляемое через число случайных результатов и истинных в столбцах матрицы ошибок; N – общее число точек.

Для абсолютно точных результатов коэффициент Каппа $k = 1$, а при полном случайном совпадении $k = 0$. Для соблюдения релевантности статистической обработки из всех результатов работ полностью исключены недостающие данные в границах аппаратной ошибки спутника Landsat-7.

Значения температуры (рис. 2з) подстилающей поверхности рассчитывались из соотношения для Land Surface Temperature (LST):

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda T_B}{\rho}\right) \ln \varepsilon}, \quad (3)$$

где: LST – температура поверхности земли (°K); T_B – яркостная температура (°K); λ – длина волны излучения ($\lambda = 11,457$ мкм для Landsat TM, $\lambda = 11,269$ мкм для Landsat ETM+, $\lambda = 10,904$ мкм для Landsat OLI TIRS); $\rho = (h \times c) / \sigma = 1,438 \times 10^{-2}$ мК; $\sigma = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; $h = 6,26 \times 10^{-34}$ Дж \times с – постоянная Планка; $c = 2,998 \times 10^8$ м/с – скорость света; ε – коэффициент излучения поверхности Земли (LSE), связанный со значением индекса растительности NDVI соотношением:

$$\varepsilon = 1,0094 + 0,047 \ln(NDVI). \quad (4)$$

Далее анализировали температурный режим поверхности в течение летнего периода для каждого из выделенных типофакторов техногенно трансформированных ландшафтов по дискретным измерениям в соответствии с исходной выборкой съемки (табл. 1). Относительные аномалии значений LST для рассматриваемых типофакторов определялись по отношению к значениям участков, выбранных в качестве фоновых (ненарушенных).

Рассматривалась также корреляционная связь с температурой воздуха по сопряженным данным метеонаблюдений. Сопряженно метеопараметры, соответствующие датам съемки изображений, были обобщены на основе данных с метеостанции «Аэропорт Игарка» (WMO ID 23274) (<https://rp5.ru>, дата обращения: 06.07.2023). Использованы данные о приземной температуре воздуха в самый теплый месяц года – июль в 16 часов местного времени, долговременный ряд значений построен для временного интервала с 2010 по 2022 год.

Выявленные расхождения долговременной динамики значений LST с метеоданными о температуре воздуха были соотнесены с масштабом техногенной трансформации территории, который в значительной степени определяет изменения теплового режима территории.

Результаты и обсуждение

Результат классификации снимка территории исследований с применением обучающей выборки для 6 классов удовлетворяет поставленной задаче иссле-

дования и позволил достоверно выделить в том числе инфраструктурные объекты (класс 2), для которых уровень техногенной трансформации максимален (рис. 3). Отдельно выделены комплексы речных долин (класс 3) и объекты гидрографии (класс 4). В качестве фоновых территорий были выделены три класса растительности: гидроморфные ландшафты с болотными комплексами (класс 5), автоморфные ландшафты с лишайниковыми типами леса (класс 6) и древесно-кустарниковая и травянистая активно вегетирующая растительность (класс 7).

На основе анализа результатов классификации было установлено, что классы с лишайниковыми типами леса (34,19%) и древесно-кустарниковая и травянистая активно вегетирующая растительность (30,62%) доминируют на исследуемой территории на съемках 2022 года. Площадь класса инфраструктурных объектов составляет ~5% общей площади участка. Процентное соотношение всех выделяемых классов за два срока наблюдений представлено в табл. 2.

На рис. 4б приведены дискретные данные о температуре воздуха приземного слоя летнего периода по материалам метеостанции «Аэропорт Игарка» за 2010–2022 годы. Усреднения выполнялись для самого теплого месяца года – июля. При существенных отличиях рядов дискретных измерений для летних периодов (июль–август) температуры приземного воздуха на метеостанции и по индексу LST (рис. 4а, б) между анализируемыми параметрами зафиксирован значимый уровень корреляция ($R^2 = 0,35$, $p < 0,05$) (рис. 4в).

Для всей территории исследований на фоне значительных межсезонных вариаций амплитуды и температуры воздуха и LST значимые тренды не выявлены, коэффициенты достоверности аппроксимации ($R^2 = 0,02$ и $0,06$) незначительны. Вероятно, некоторое снижение LST обусловлено только присутствием двух спорадических максимумов в 2013 и 2016 годах на фоне стабильных значений для остальных лет, варьирующих на уровне ~17 °С.

В то же время на фоне увеличения доли техногенно трансформированных участков и площади инфраструктуры и связанных с этим снижений альбедо поверхности (на ~40% в зависимости от нарушенности [4]) и степени черноты (изменение на ~10%) следует ожидать рост LST для больших участков в районе исследований. Таким образом будет проявляться отклик на техногенные воздействия, меняющие тепловой режим подстилающей поверхности. Аномальные экстремумы температуры воздуха 2013 и 2016 годов отразились и на показателе LST, который демонстрирует синфазность изменения в данный период (рис. 4а, б). Однако далее после 2017 года интегральное значение LST рассматриваемой территории не следует отрицательному тренду температуры воздуха, а демонстрирует хоть и незначительный, но положительный тренд.



Рис. 3. Результат классификации территории ТНМ по состоянию на 2022 год. Описание выделенных классов: 1 – облачность в кадре; 2 – инфраструктурные объекты; 3 – растительность речных долин; 4 – объекты гидрографии; 5 – гидроморфные болотные комплексы; 6 – автоморфные комплексы с лишайниковыми покровами; 7 – древесно-кустарниковая и травянистая растительность (активно вегетирующая)

Табл. 2

Соотношение площадей типифакторов в районе исследований по результатам классификации снимков за 2013 и 2022 годы

Типофактор	Площадь, га		От общей площади, %		LST среднее	
	2013	2022	2013	2022	2013	2022
Облачность	109	10	0,52	0,04	–	–
Техногенно трансформированный покров /инфраструктура	103	1082	0,49	4,90	26,85	59,06
Растительность речных долин	957	1140	4,58	5,16	25,75	58,09
Объекты гидрографии	2749	2323	13,16	10,51	20,54	54,12
Болотные комплексы	1785	3220	8,54	14,57	25,95	58,40
Лишайниковый покров	6470	6766	30,97	30,62	27,00	58,87
Активно вегетирующая растительность	8721	7552	41,74	34,19	25,71	58,24

Точность выполненной классификации составила не ниже 78,5% при коэффициенте каппа $k = 0,63$ (табл. 3).

Табл. 3

Точность классификации растительного покрова за выбранный период

Год		Объекты гидрографии (%)	Инфраструктура (%)	Общая точность (%)	Коэффициент Каппа
2022	Точность пользователя	79,56	77,97	78,58	0,63

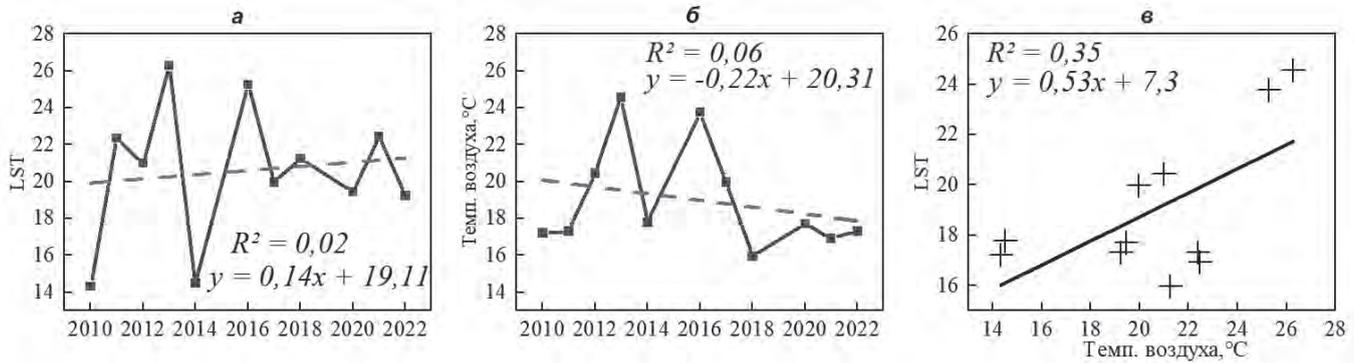


Рис. 4. Многолетние тренды индекса LST и температуры воздуха по данным метеостанции «Аэропорт Игарка»: а – температура подстилающей поверхности по данным дистанционного зондирования; б – усредненная температура воздуха июля по данным метеостанции в г. Игарка; в – график корреляционного поля

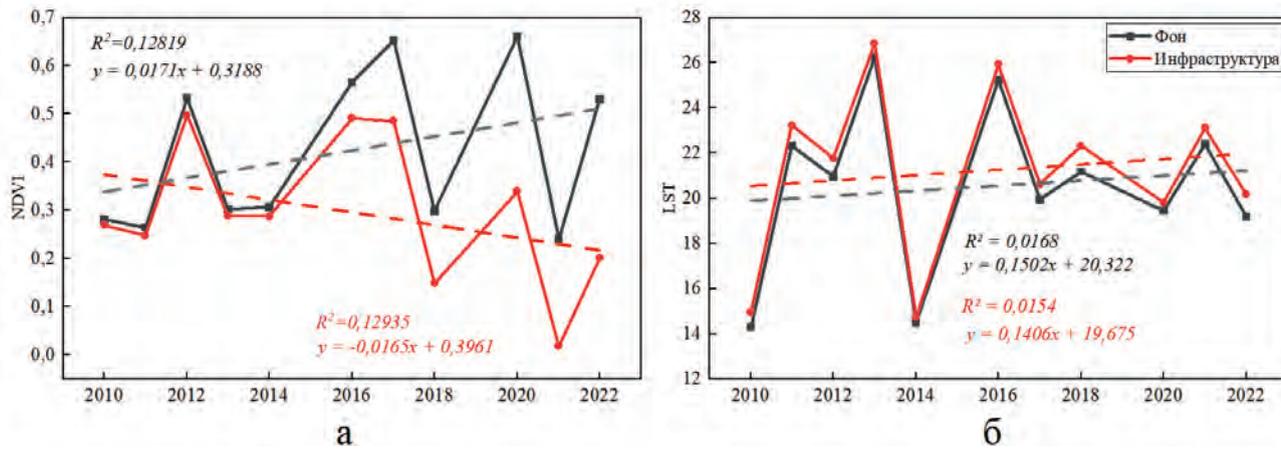


Рис. 5. Динамика летнего периода NDVI и LST на территории района исследований с учетом типофакторов состояния и трансформации: а – индекс NDVI (разрешение 30 м); б – индекс LST (разрешение 100 м)

Показателен общий тренд на снижение значений NDVI для всех типофакторов, относимых к трансформированным участкам (рис. 5а, табл. 4). Время значительных изменений и NDVI, и LST совпадает с началом интенсивной разработки участка в 2016 году. Относительные отклонения значений LST при этом достигло ~5–12% при сравнении с ненарушенными фоновыми территориями (рис. 5б). Детализация относительных аномалий для каждого из типофакторов обобщена в табл. 4.

Можно предположить, что низкий процент площади класса инфраструктуры (~5% общей площади) (табл. 4) является причиной занижения значений LST при использовании спутниковой съемки в тепловом диапазоне с пространственным разрешением 100 м. Это может накладывать ограничения на получаемые решения и в целом на возможность контроля аномалий теплового состояния исследуемого полигона. Предположение подтверждается динамикой индекса

NDVI (рис. 5б), рассчитываемого на данных более высокого пространственного разрешения, где при тех же внешних условиях абсолютная и относительная разница в динамике классов значимо проявляется и увеличивается во времени с NDVI = 0,26 для инфраструктуры в 2010 году до NDVI = 0,2 для инфраструктуры фона в 2022 году, при фоновых значениях на ненарушенных участках NDVI ~ 0,53.

Относительное отклонение значений по сравнению с фоновыми составило ~9–26% для NDVI и 18–26% для LST (табл. 4). Отклонение индекса LST для класса «инфраструктура» от средних значений фона в процентном отношении варьирует на уровне ~3,2–5,5% в течение рассмотренного периода 2010–2022 годы.

Текущая степень воздействия инфраструктуры нефтегазового комплекса на тепловой режим подстилающей поверхности на участке ТНМ характеризуется также изменением гистограммы распределения значений в сторону высоких значений (рис. 6). Однако

Уровень относительной аномалии NDVI и LST для рассматриваемых типофакторов в процентах к значениям фона

Типофактор воздействия	Доля от общей площади, %	NDVI, % к фону		LST, % к фону	
		2013	2022	2013	2022
Облачность		–	–	–	–
Техногенно трансформированный покров/инфраструктура	4,90	23,37	9,19	25,72	26,50
Растительность речных долин	5,16	29,96	29,15	24,66	24,40
Объекты гидрографии	10,51	–30,13	–14,86	19,68	18,57
Болотные комплексы	14,57	20,08	22,26	24,85	24,96
Лишайниковый покров	30,62	22,76	21,76	25,86	25,91
Активно вегетирующая растительность	34,19	27,20	26,83	24,63	24,73

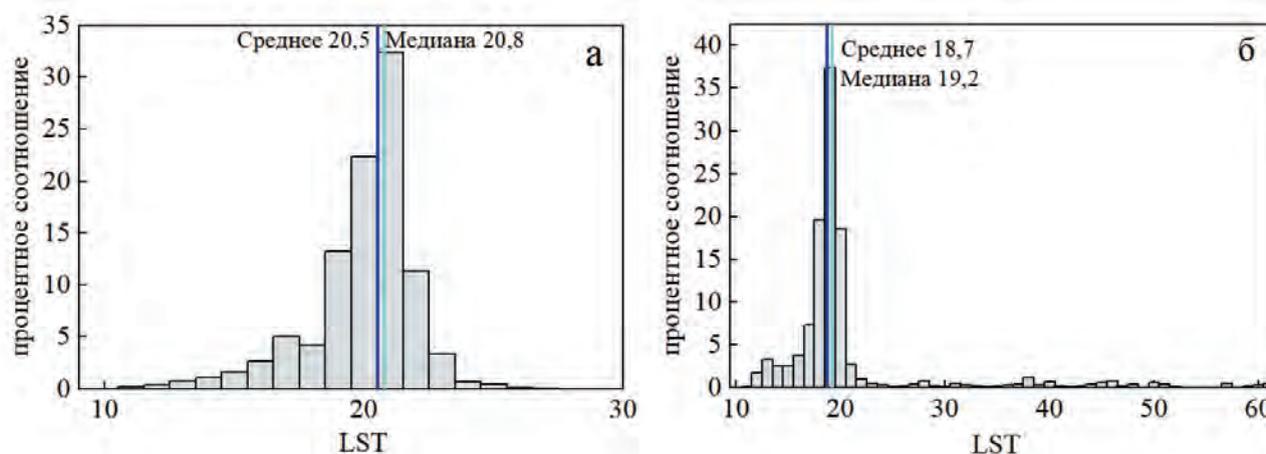


Рис. 6. Исследуемая территория в температурном градиенте на основе индекса LST: а – распределение пикселей индекса LST на основе данных Landsat–8 в 2013 году; б – распределение пикселей индекса LST на основе данных Landsat–8 в 2022 году

изображения температурного градиента включают спорадические максимумы индекса LST, связанные с присутствием факелов открытого горения.

Зафиксированные изменения в тепловом режиме трансформированных участков района исследований согласуются с результатами, полученными для других вариантов техногенного воздействия на растительность и почвы. Как показано ранее [11, 13], техногенное воздействие остается значимым на длительных временных интервалах (более 40 лет), оказывая воздействие и на почву, и на все остальные компоненты экосистем. При этом отмечается, что экосистемы не возвращаются в исходное состояние даже в условиях естественного многолетнего восстановления и представляют собой неотехногенные экосистемы с изменениями не только температурного, но и водного режима почв [4]. Для северных территорий аномалии теплового режима являются в целом значимым фактором стабильности многолетнемерзлых пород [4, 10].

Заключение

Изменения температурного режима подстилающей поверхности в районах с интенсивным влиянием инфраструктуры нефтегазовых комплексов могут вести к серьезным экологическим последствиям. При активной разработке месторождений неизбежно возрастает степень техногенной трансформации растительных и почвенных покровов, играющих роль термоизолятора и регулятора тепловых потоков в почве. В этих условиях в летний период температура воздуха, корреляция которой с данными LST зафиксирована на уровне $R^2 = 0,35$ при $p < 0,05$, уже не определяет универсальный тепловой режим для всей поверхности. При различных типофакторах трансформации он будет в той или иной степени отличаться от фонового. На примере ТНМ показано, что участки, относимые к классу инфраструктурно трансформированных территорий, характеризуются превышением значений LST

на 3,2–5,5% относительно средних показателей для фона. В общем, зафиксированные трансформации в термическом режиме измененных территорий исследуемого района соответствуют результатам, полученным для некоторых других вариантов техногенного влияния на растительность и почву в арктической зоне Сибири.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, <https://rscf.ru/project/23-14-20007/>, Красноярского краевого фонда науки. Материалы спутникового мониторинга получены в Центре коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН и обработаны в рамках проекта государственного задания № FWES-2024-0023 (ИЛ СО РАН).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Горный ВИ, Киселев АВ, Крицук СГ, Латыпов ИШ, Тронин АА. Спутниковое картирование тепловой реакции подстилающей поверхности Северной Евразии на изменение климата. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021;18(6):155-64.
2. Горный ВИ, Крицук СГ, Латыпов ИШ, Манвелова АБ, Тронин АА. Спутниковое картирование риска перегрева городского воздуха (на примере г. Хельсинки, Финляндия). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022;19(3):23-34.
3. Лупян ЕА, Лозин ДВ, Балашов ИВ, Барталев СА, Стыщенко ФВ. Исследование зависимости степени повреждений лесов пожарами от интенсивности горения по данным спутникового мониторинга. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022;(3):217-32.
4. Пономарева ТВ, Пономарев ЕИ, Литвинцев КЮ, Финников КА, Якимов НД. Тепловое состояние нарушенных почв в криолитозоне Сибири на основе дистанционных данных и численного моделирования. Вычислительные технологии. 2022;(3):16-35.
5. Соколов ДА, Андрокханов ВА, Абакумов ЕВ. Почвообразование в техногенных ландшафтах: тренды, результаты и отражение в современных классификациях (обзор). Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021;(56):6-32.
6. Султсон СМ, Пономарев ЕИ, Швецов ЕГ, Третьяков ПД, Горошко АА, Кулакова НН, Михайлов ПВ. Применение дистанционного зондирования для прогноза нарушений темнохвойных лесов после вспышки численности сибирского шелкопряда. Биосфера. 2023;15(1):21-30.

7. Трофимова ИЕ. Районирование Западно-Сибирской равнины по термическому режиму почв. География и природные ресурсы. 2015;(3):27-38.

Общий список литературы/References

1. Gornyi VI, Kiselev AV, Kricuk SG, Latypov ISH, Tronin AA. [Satellite mapping of the thermal response of ecosystems of Northern Eurasia to climate change]. *Sovremennye Problemy Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2021;18(6):155-64. (In Russ.)
2. Gornyi VI, Kricsuk SG, Latipov ISH, Manvelova AB, Tronin AA. [Satellite mapping of urban air overheating risk (by the example of Helsinki, Finland)]. *Sovremennye Problemy Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2022;19(3):23-34. (In Russ.)
3. Lupian EA, Lozin DV, Balashov IV, Bartalev SA, Stytsenko FV. [Study of the dependence of forest fire damage degree on burning intensity based on satellite monitoring data]. *Sovremennye Problemy Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2022;(3):217-32. (In Russ.)
4. Ponomareva TV, Litvintsev KY, Finnikov KA, Yakimov ND, Sentyabov AV, Ponomarev EI. Soil temperature in disturbed ecosystems of Central Siberia: remote sensing data and numerical simulation. *Forests*. 2021;12(8):994.
5. Sokolov DA, Androkhanov VA, Abakumov EV. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (review). *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya*. 2021;(56):6-32.
6. Sultson SM, Ponomarev EI, Shvetsov EG, Tret'yakov PD, Goroshko AA, Kulakova NN, Mikhaylov PV. [Using remote sensing for forecasting damage to dark coniferous forests after Siberian silkmoth outbreak]. *Biosfera*. 2023;15(1):21-30. (In Russ.)

7. Trofimova IYe. Zoning of the West Siberian Plain according to the thermal regime of soils. *Geografiya i Prirodnye Resursy*. 2015;(3):27-38. (In Russ.)
8. Flood N. Continuity of reflectance data between Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI, for both top-of-atmosphere and surface reflectance: A study in the Australian landscape. *Remote Sens*. 2014;(6):7952-70.
9. Melillo JM, Terese R, Gary WY. Climate Change Impacts in the United States. The Third National Climate Assessment. U.S. Global Change Research Program. 2014:841.
10. Orgogozo L, Prokushkin AS, Pokrovsky OS, Grenier C, Quintard M, Viers J, Audry S. Water and energy transfer modeling in a permafrost dominated, forested catchment of Central Siberia: the key role of rooting depth. *Permafrost and Periglacial Process*. 2019;(30):75-89.
11. Ponomareva TV, Ponomarev EI, Litvincev KYU, Fennikov KA, Yakimov ND. Thermal state of disturbed soils in the permafrost zone of Siberia according the remote data and numerical simulation. *Forests*. 2022;(3):16-35.
12. Warrens J. Cohen's kappa is a weighted average. *Statist Methodol*. 2011;8(6):473-84.
13. Yakimov ND, Ponomarev EI, Ponomareva TV. Satellite data in thermal range for natural and technogenic ecosystems monitoring. *E3S Web of Conferences*. 2021;(333):6 p. DOI:10.1051/e3s-conf/202133302017.



ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ НА ФОТОСИНТЕЗ В ЛИСТЯХ БЕРЕЗЫ ПЛОСКОЛИСТНОЙ (*BETULA PLATYPHYLLA SUKACZ.*) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

П.Г. Мордовской*, Т.Х. Максимов, М.Р. Григорьев,
Е.В. Старостин, А.А. Неустроев

Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения РАН»,
Якутск, Россия

* Эл. почта: mordovskoipg@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.11.2023; принята к печати 27.02.2024

Черный углерод (ЧУ) характеризуется способностью поглощать солнечную радиацию и относительно недолговременным периодом осаждения. Основным источником черного углерода в атмосфере Центральной Якутии являются природные пожары. Цель исследования – выявить влияние различных концентраций черного углерода в воздухе на фотосинтез в листьях березы плосколистной (*Betula platyphylla Sukacz.*). Мониторинг концентрации черного углерода и фотосинтеза проводился на лесной научной станции «Спасская падь» (30 км севернее от г. Якутска). Установлено, что высокие концентрации черного углерода в атмосфере, связанные со значительным снижением фотосинтетически активной радиации, приводят к нарушениям фотосинтетических процессов в листьях.

Ключевые слова: мониторинг черного углерода, природные пожары, фотосинтез.

EFFECTS OF INCREASED LEVELS OF BLACK CARBON IN THE AIR ON PHOTOSYNTHESIS IN LEAVES OF THE BIRCH TREE (*BETULA PLATYPHYLLA SUKACZ.*) IN CENTRAL YAKUTIA

P.G. Mordovskoi*, T.Kh. Maksimov, M.P. Grigoryev, Ye.V. Starostin, A.A. Neustroyev
Yakutsk Research Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

* E-mail: mordovskoipg@yandex.ru

Black carbon absorbs solar radiation. Its sedimentation period is relatively short. The main sources of airborne black carbon in Central Yakutia is forest fires. The objective of the present study is to assess the effects of different black carbon levels in the air on photosynthesis in the leaves of the birch tree *Betula platyphylla Sukacz.* Airborne black carbon monitoring was carried out at the forest research station Spasskaya Pad' located 30 km to the north from Yakutsk. It was found that elevated black carbon levels in the air significantly compromise photosynthetic process in birch leaves.

Keywords: black carbon monitoring, natural fires, photosynthesis.

Введение

Природные пожары – это источник парниковых газов (углекислый и угарный газ, оксиды азота, метан и др.) и аэрозолей (взвешенные твердые частицы, черный углерод) [8, 6], которые влияют на биогеоценоз локальных выгоревших территорий [3] и на обширные территории при перемещении воздушных масс с повышенным содержанием загрязняющих веществ. Также черный углерод снижает солнечную радиацию [5], что должно негативно влиять на фотосинтез в ра-

стениях. Наиболее чувствительны к загрязнению атмосферы первичные этапы фотосинтеза. Например, увеличение концентрации углекислого газа вызвало увеличение фотосинтетической активности листьев яровой пшеницы [9]; угарный газ и оксиды азота в повышенных концентрациях при длительном воздействии вызывают нарушения в физиологических процессах у клубники [12]. Большое количество внешних факторов и различия по их влиянию на фотосинтез растений делают актуальными исследования воздей-

ствия повышенных концентраций черного углерода на фотосинтез в короткий вегетационный сезон Центральной Якутии.

Условия, объекты и методы исследования

Исследования проводили на лесной научной станции «Спасская падь» в 30 км севернее от г. Якутска (62°14' с.ш., 129°37' в.д.). Климат Центральной Якутии отличается резкой континентальностью, с продолжительной холодной зимой и коротким теплым летом.

Объектом исследования выбрана широко распространенная в Центральной Якутии береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.) [2] – послепожарный пионерный вид с большей фотосинтетической активностью, чем у хвойных растений, играющий большую роль в бюджете углерода лесных экосистем криолитозоны [4].

Суточные измерения фотосинтетически активной радиации и фотосинтетической активности, устьичной проводимости и транспирации в листьях березы плосколистной проводили при помощи инфракрасного анализатора ADC LCi (ADC BioScientific, Великобритания) с 06:00 до 10:00 ежедневно и с 12:00 до 06:00 каждые 3 часа. Для исследования выбирали здоровые зеленые листья без видимых повреждений на средней кроне взрослых деревьев. Отобранный лист помещали в прозрачную камеру анализатора (площадью 2,5×2,5 см) таким образом, чтобы поверхность листа располагалась перпендикулярно относительно линии к солнцу. По полученным значениям газообмена CO₂ и H₂O через инфракрасный газоанализатор рассчитывали уровни фотосинтеза, транспирации и

устьичной проводимости. Величины фотосинтетически активной радиации (ФАР) определяли при помощи ФАР-датчика, расположенного рядом с прозрачной камерой. В работе отслежены три березы. Возраст деревьев 70–80 лет. Данные были получены 2, 10, 16 и 25 июня, 1, 8, 14, 22 и 29 июля, 7, 12, 19 и 26 августа и 1 и 9 сентября. Результаты представляют собой средние по трем листьям.

Непрерывный мониторинг массовой концентрации черного углерода в атмосферном воздухе проводили на высоте 10 метров с использованием абсорбционного фотометра COSMOS BCM3130 (Kanomax, Япония) [7, 10, 11, 13] с частотой измерения 1 мин.

Температура, количество осадков и другие метеорологические параметры были измерены автоматической метеостанцией WXT 520 (Vaisala, Финляндия), расположенной на лесной научной станции «Спасская падь» в непосредственной близости от экспериментальной площадки.

Результаты и обсуждение

В исследованиях фотосинтеза растений важнейшую роль имеет определение переходов вегетационного периода и сезонного перехода весна-лето и лето-осень. Согласно локальным метеонаблюдениям, фенологическая весна по Т.Н. Буториной [1] на лесной станции «Спасская падь» в 2021 году для Сибири наступила 30 апреля, когда произошел переход дневных температур выше 0 °С. Фенологическое лето наступило 8 июня, когда среднесуточные температуры превысили +15 °С. Фенологическая осень наступила 24 августа после перехода среднесуточных температур ниже +15 °С.

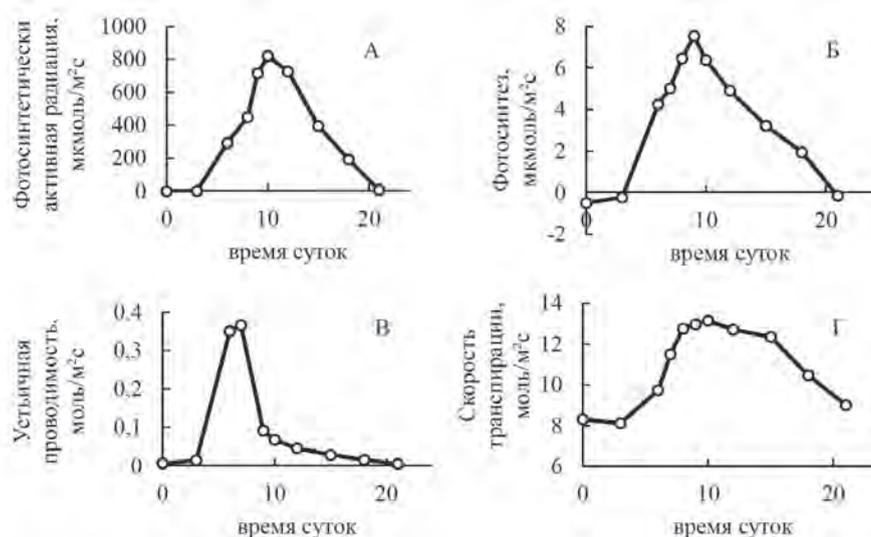


Рис. 1. Суточный ход процессов фотосинтеза березы плосколистной в летний вегетационный период с 8 июня по 24 августа 2021 года: А – фотосинтетически активная радиация; Б – фотосинтез; В – устьичная проводимость; Г – скорость транспирации

На рис. 1 представлен суточный ход процессов фотосинтеза березы плосколистной. Наибольшая интенсивность фотосинтеза наблюдается в дневное время при максимальном воздействии фотосинтетически активной радиации. Средние значения устьичной проводимости и скорости транспирации в летний период увеличиваются в утреннее время и снижаются в течение дня. Скорость транспирации зависит от состояния устьиц листа, температуры, влажности, скорости ветра, влажности и минерального состава почв.

Массовая концентрация черного углерода в летний период 2021 года представлена на рис. 2. Максимальная массовая концентрация ЧУ зафиксирована 12 августа и составила $19,4 \text{ мкг/м}^3$. Пиковые значения были

зафиксированы в период высокой задымленности от природных пожаров (ПП), что подтверждается данными спутникового мониторинга природных пожаров FIRMS (Fire Information for Resource Management System, США) 12 августа 2021 года в Центральной Якутии. Задымленность и количество очагов ПП значительно снизились к 17 августа, средняя концентрация ЧУ в этот день составила $0,16 \text{ мкг/м}^3$ (рис. 3).

Уровни фотосинтетически активной радиации, устьичной проводимости, фотосинтеза и скорости транспирации при различных уровнях загрязнения воздуха ЧУ представлены на рис. 4, где данные разделены на три группы: утренние (с 6 до 10 часов), дневные (12 и 15 часов) и вечерние (18 и 21 часов). Для на-

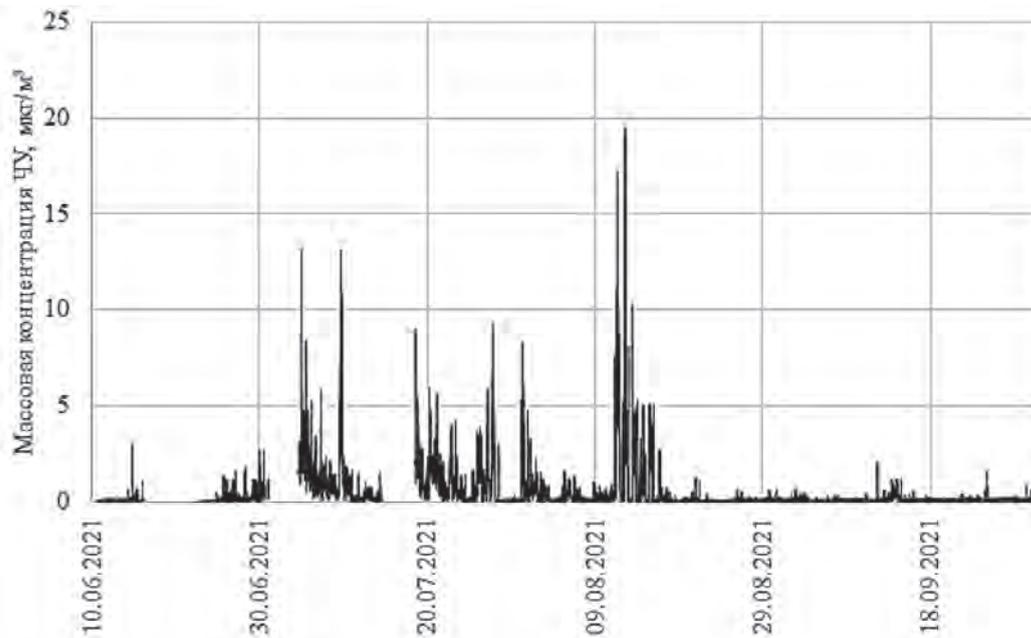


Рис. 2. Массовая концентрация черного углерода в приземном воздухе на станции «Спасская падь» в летний период 2021 года

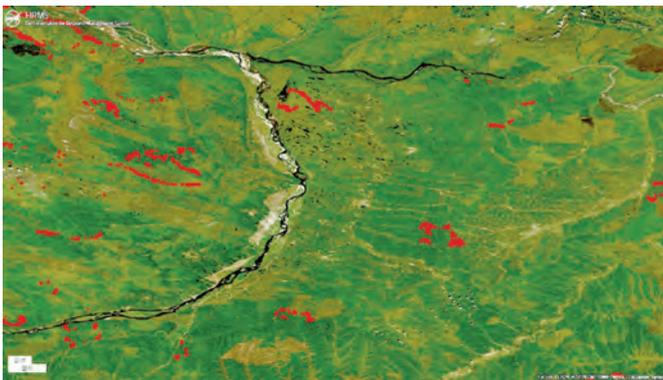


Рис. 3. Спутниковые данные FIRMS действующих ПП 12 (слева) и 17 (справа) августа 2021 года в Центральной Якутии. Красные точки – очаги ПП

глядности графиков использована логарифмическая шкала массовой концентрации ЧУ.

В табл. 1 показаны средние значения данных параметров при различных массовых концентрациях ЧУ, также разделенные на три группы: чистый воздух – от 0 до 0,1 мкг/м³, умеренное загрязнение – от 0,1 до 1 и сильное загрязнение – свыше 1 мкг/м³.

Наибольшее прямое воздействие ЧУ в воздухе оказывает на поток ФАР (рис. 4А). Средний уровень ФАР при массовой концентрации ЧУ до 0,1 мкг/м³ составил 456 мкмоль фотонов/м²с, повышение массовой концентрации ЧУ до 1 мкг/м³ вызывает снижение ФАР до 308 мкмоль фотонов/м²с, свыше 1 мкг/м³ – до 153 мкмоль фотонов/м²с, соответственно. Следует учесть, что оса-

жденный на листьях или хвое деревьев ЧУ не оказывает влияния на фотосинтез растений ввиду своего микронного размера. Исключением могут быть катастрофически высокая массовая концентрация ЧУ в непосредственной близости от природного пожара [14].

На рис. 4Б показана зависимость устьичной проводимости от массовой концентрации ЧУ в воздухе. Устьичная проводимость листьев регулирует процессы фотосинтеза и транспирации и в среднем составляет 0,064 моль СО₂/м²с для листьев березы повислой при малых концентрациях ЧУ до 0,1 мкг/м³. Повышение массовой концентрации ЧУ в воздухе до 0,1–1 мкг/м³ вызвало снижение средней устьичной проводимости до 0,044 моль СО₂/м²с, высокие массовые концентрации ЧУ

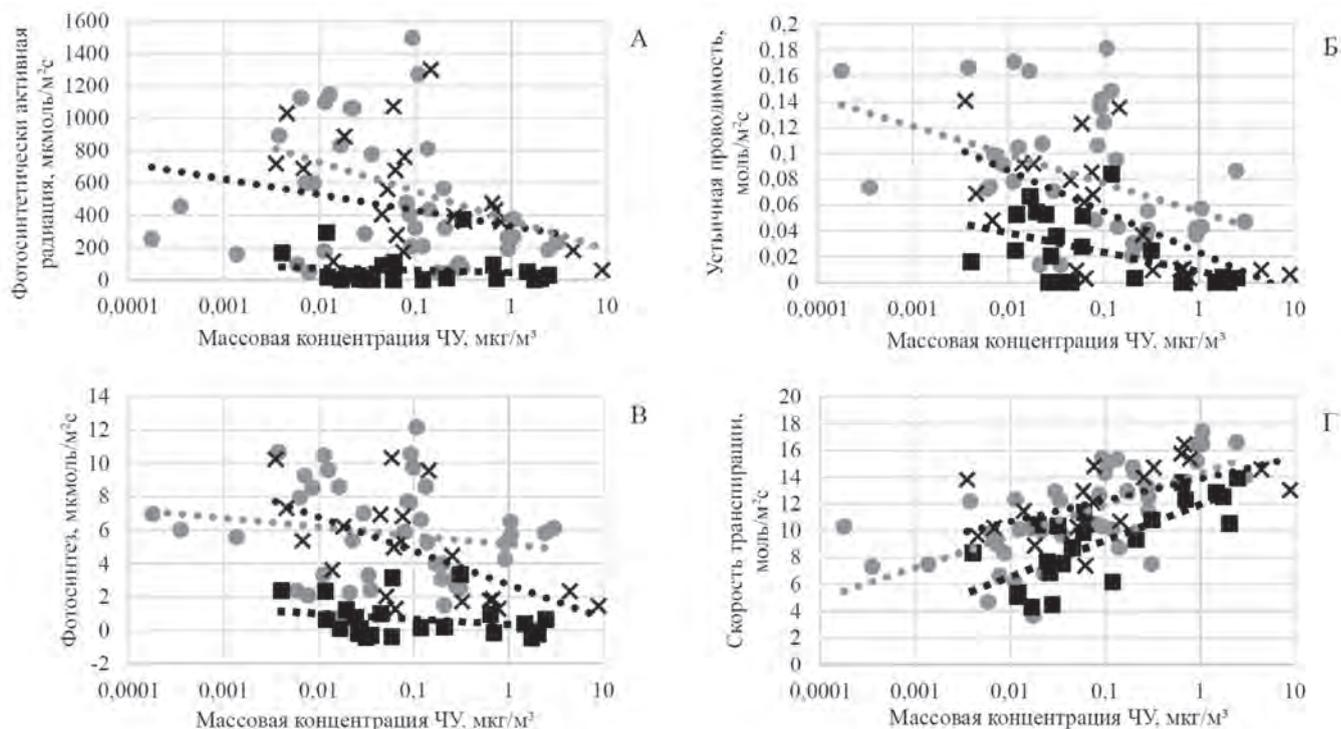


Рис. 4. Влияние массовой концентрации ЧУ на фотосинтетически активную радиацию (А), устьичную проводимость (Б), фотосинтез (В), скорость транспирации (Г): утреннее (серые круги, линия тренда – серые круглые точки), дневное (черные крестики, линия тренда – черные круглые точки) и вечернее (черные квадраты, линия тренда – черные квадратные точки) время

Табл. 1

Средние значения (M±m) фотосинтетически активной радиации, устьичной проводимости и фотосинтеза при различных массовых концентрациях ЧУ (n – число измерений)

Средние значения	ЧУ, мкг/м ³		
	0–0,1 (n = 48)	0,1–1 (n = 28)	Свыше 1 (n = 10)
Фотосинтетически активная радиация, мкмоль фотонов/м ² с	456 ± 121	308 ± 130	153 ± 84
Устьичная проводимость, моль СО ₂ /м ² с	0,064 ± 0,013	0,044 ± 0,018	0,023 ± 0,018
Фотосинтез, мкмоль СО ₂ /м ² с	4,85 ± 0,98	3,88 ± 1,24	3,62 ± 1,87
Скорость транспирации, моль Н ₂ О/м ² с	9,37 ± 0,80	12,73 ± 1,07	14,19 ± 1,38

свыше 1 мкг/м³ еще более снизили среднюю устьичную проводимость до 0,023 моль СО₂/м²с.

На рис. 4В заметно негативное воздействие черного углерода на процесс фотосинтеза: при умеренном загрязнении снижение на 20%, при сильном загрязнении – на 25% по сравнению с чистым воздухом. Снижение фотосинтеза наблюдается несмотря на повышение концентрации СО₂ в дымовом следе от природных пожаров. Конечно, также необходимо учитывать расстояние от места наблюдения до природного пожара, так как углекислый газ, в отличие от ЧУ, постепенно поднимается в верхние слои атмосферы.

На рис. 4Г показана зависимость скорости транспирации от массовой концентрации ЧУ. Видно, что повышение массовой концентрации ЧУ в воздухе вызывает увеличение скорости транспирации воды в листьях березы повислой независимо от времени суток, что может быть связано со снижением влажности воздуха в период дымового воздействия от природных пожаров или кратковременной засухи, которая стала причи-

ной активности природных пожаров. Также повышение скорости транспирации является защитной реакцией растения на локальное повышение температуры воздуха вследствие поглощения солнечного тепла ЧУ.

Таким образом, повышение массовой концентрации ЧУ в воздухе оказывает прямое стрессовое воздействие на листовую аппарат березы плосколистной. Реакцией растения на стресс являются снижение устьичной проводимости на 30% и снижение интенсивности фотосинтеза более 60%. Следует отметить, что прямое воздействие ЧУ обусловлено снижением фотосинтетически активной радиации в утреннее и дневное время. Косвенное воздействие повышенных концентраций ЧУ может быть связано с изменением скорости транспирации листьев березы плосколистной.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FWRS-2021-0047 (раздел по черному углероду) и FWRS-2021-0042 (раздел по фотосинтезу).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Буторина ТН, Крутовская ЕА. Сезонные ритмы природы Средней Сибири. М.: Наука; 1972.
2. Караваев МН. Растительный мир Якутии. Якутск: Якуткнигоиздат; 1971.
3. Санников СН. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов. Экология. 1981;(6):23-33.
4. Уткин АИ. Леса Центральной Якутии. М.: Наука; 1965.
5. Чубарова НЕ, Горбаренко ЕВ, Незваль ЕИ, Шиловцева ОА. Аэрозольные и радиационные характеристики атмосферы во время лесных и торфяных пожаров в 1972, 2002 и 2010 гг. в Подмоскowie. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011;47(6):790.
6. Швиденко АЗ, Щепаченко ДГ. Климатические изменения и лесные пожары в России. Лесоведение. 2013;(5):50-61.

Общий список литературы/References

1. Butorina TN, Krutovskaya EA. Sezonnnyye Ritmy Prirody Sredney Sibiri. [Seasonal Rhythms of Nature in Central Siberia]. Moscow: Nauka; 1972. (In Russ.)
2. Karavayev MN. Rastitel'nyy Mir Yakutii. [Flora of Yakutia]. Yakutsk: Yakutkniгоizdat; 1971. (In Russ.)
3. Sannikov SN. [Forest fires as a factor in the transformation of structure, renewal and evolution of biogeocenoses]. Ekologiya. 1981;(6):23-33. (In Russ.)
4. Utkin AI. Lesa Tsentralnoy Yakutii. [Forests of Central Yakutia]. Moscow: Nauka; 1965. (In Russ.)
5. Chubarova NYe, Gorbarenko YeV, Nezval YeI, Shilovtseva OA. Aerosol and radiation characteristics of the atmosphere during forest and peat fires in 1972, 2002, and 2010 in the Moscow Region. Izvestiya RAN Fizika Atmosfery i Okeana. 2011;47(6):790. (In Russ.)
6. Shvidenko AZ, Schepaschenko DG. Climate changes and wildfires in Russia. Lesovedeniye. 2013;(5):50-61. (In Russ.)
7. Abatzoglou JT, Williams AP, Barbero R. Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices. Geophys Res Lett. 2019;46(1):326-36.
8. Andreae MO, Merlet P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. Glob Biogeochem Cycles. 2001;15(4):955-66.
9. Garcia RL, Long SP, Wall GW, Osborne CP, Kimball BA, Nie GY, Pinter PJ, Lamorte RL, Wechsung F. Photosynthesis and conductance of spring-wheat leaves: field response to continuous free-air atmospheric CO₂ enrichment. Plant Cell Environ. 1998;21(7):659-69.

10. Miyakawa T, Mordovskoi P, Kanaya Y. Evaluation of black carbon mass concentrations using a miniaturized aethalometer: Intercomparison with a continuous soot monitoring system (COSMOS) and a single-particle soot photometer (SP2). *Aerosol Sci Technol.* 2020;54:1-24.
11. Miyazaki Y. Performance of a newly designed continuous soot monitoring system (COSMOS). *J Environ Monitor.* 2008;10:1195-201.
12. Muneer S, Kim TH, Choi BC, Lee BS, Lee JH. Effect of CO, NO_x and SO₂ on ROS production, photosynthesis and ascorbate–glutathione pathway to induce *Fragaria×annasa* as a hyperaccumulator. *Redox Biol.* 2014;2:91-8.
13. Ohata S. Estimates of mass absorption cross sections of black carbon for filter-based absorption photometers in the Arctic. *Atm Measurement Tec.* 2021;14:6723-48.
14. Yamaguchi M. Effects of long-term exposure to black carbon particles on growth and gas exchange rates of *Fagus crenata*, *Castanopsis sieboldii*, *Larix kaempferi* and *Cryptomeria japonica* seedlings. *Asian J Atm Environ.* 2012;6:259-67.



ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ ДЕГИДРОГЕНАЗ И ИНВЕРТАЗЫ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОЧАРА И БАКТЕРИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА

Т.В. Минникова^{1*}, С.И. Колесников¹, Н.С. Минин¹

¹ Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

* Эл. почта: Loko261008@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.10.2023; принята к печати 25.01.2024

Исследованы изменения активности дегидрогеназ и инвертазы нефтезагрязненного чернозема обыкновенного при внесении биочара и бактериального препарата, содержащего штаммы *Bacillus* и *Paenibacillus*, как по отдельности, так и в сочетании, а также при инокуляции биочара бактериальным препаратом. Ремедианты были однократно внесены в почву, загрязненную нефтью (5% массы почвы), и перемешаны с ней. Процесс ремедиации длился 30 суток. Установлено, что наиболее эффективным является совместное применение биочара и бактериального препарата, которое стимулирует активность инвертазы и дегидрогеназ на 25 и 65% и снижает остаточное содержание нефти в почве. Результаты исследования возможно использовать при оценке экологического состояния нефтезагрязненных черноземов, а также для организации и проведения природоохранных мероприятий по ремедиации почв.

Ключевые слова: почва, нефть, ремедиация, ферментативная активность.

EVALUATION OF DEHYDROGENASES AND INVERTASE ACTIVITY IN PETROLEUM-HYDROCARBON-CONTAMINATED HAPLIC CHERNOZEM DURING REMEDIATION WITH BIOCHAR AND BACTERIAL PREPARATION

T.V. Minnikova¹, S.I. Kolesnikov¹, N.S. Minin¹

¹ Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russia

Email: loko261008@yandex.ru

Changes in the activities of dehydrogenases and invertase in oil-contaminated ordinary chernozem were studied upon introducing biochar and a bacterial preparation containing *Bacillus* and *Paenibacillus* strains, both individually and in combination, as well as upon inoculating biochar with the bacterial preparation. The ameliorants were applied to oil-contaminated soil (5% of soil mass) and mixed with it. The remediation process lasted for 30 days. The most effective was the combined use of biochar and the bacterial preparation, which stimulated the activities of invertase and dehydrogenases by 25 and 65% and reduces the residual oil content in the soil. The results of the study may be useful for assessing the conditions oil-contaminated chernozems and for organizing and carrying out environmental protection measures for soil remediation.

Keywords: soil, oil, remediation, enzymatic activity.

Введение

Восстановление экологического состояния нефтезагрязненных почв является сейчас приоритетной задачей. После внесения ремедиантов необходимо оценивать не только разложение нефти в почве, но и экологическое состояние, здоровье и уровень плодородия почвы [24, 26]. В настоящее время существует множество восстановительных технологий для работы с почвами, загрязненными нефтяными углеводородами, включая экстракцию, сжигание и термическую десорбцию, химическое окисление, электрокинетическую реабилитацию и другие подходы [23, 30].

Поскольку при загрязнении нефтью в почве происходит нарушение равновесия между углеродом и азотом за счет привноса углерода нефти, то необходимо оценивать состояние почвы прежде всего по биологическим показателям, характеризующим углеродный цикл (С-цикл) [2, 3]. К числу наиболее информативных показателей, характеризующих С-цикл, относятся активности инвертазы (β -фруктофуранозидазы) и дегидрогеназ. Снижение активности инвертазы почв при нефтяном загрязнении некоторые исследователи связывают с ингибированием активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов и со снижением содер-

жания дисахаридов в почве [1, 10, 11, 14, 15, 20, 22]. Для нормализации соотношения C:N в нефтезагрязненной почве необходимо применение технологий биоаугментации и биостимуляции аборигенной биоты [9, 27, 28]. При диагностике экологического состояния нефтезагрязненных черноземов концентрациями 5 и 10% массы почвы после внесения азотных и гуминовых ремедиантов активность инвертазы была информативным и чувствительным показателем [10]. Сравнением активностей инвертазы и дегидрогеназ с активностями других гидролаз и оксидоредуктаз установлено сходство их чувствительности при ремедиации нефтезагрязненного чернозема [11]. Активность инвертазы в орошаемых лугово-такырных почвах окрестностей Кумкурганской нефтебазы и Южно-Миршодского нефтяного месторождения в Сурхандарьинской области (Казахстан), непосредственно связана с расстоянием от нефтебазы: почва из зоны, прилегающей к источнику, имеет более низкую активность фермента, чем почва на более удаленном расстоянии [7].

В настоящее время при мелиорации загрязненных почв широко распространено применение биочара, или пироугля [5, 16, 28]. Поскольку применение только биочара связано с его свойствами как адсорбента и биостимулятора, важно обеспечить загрязненную почву еще и нефтедеструктивной биотой, которая будет простимулирована за счет углерода нефти и биочара.

Цель настоящего исследования – оценить активность дегидрогеназ и инвертазы чернозема при внесении биочара и бактериального препарата. Задачи: оценка изменения активностей инвертазы и дегидрогеназ чернозема 1) при внесении биочара и бактериального препарата по отдельности; 2) при совместном внесении; 3) при инокуляции биочара бактериальным препаратом.

Объекты и методы

Объектом исследования был чернозем обыкновенный карбонатный (Апах, 0–25 см). Место отбора – Ботанический сад Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону. Физико-химические свойства чернозема: pH 7,5–7,8, содержание органического вещества 5,5–6,0%, содержание карбонатов 0,3–0,5%, сумма поглощенных оснований 34,0–36,0 мг-экв/100 г почвы [4].

Биочар представлял собой чистый древесный уголь березы (*Betula alba* L.) марки А ГОСТ 7657-84 с содержанием углерода не менее 85%. Продукт производится методом пиролиза древесины (800 °C) в ретортных установках без доступа кислорода (ООО «ДианаАГРО», Новосибирск, Россия). Продукт имеет высокое содержание углерода (не менее 85%), не содержит вредных и токсичных примесей. По отношению к нефтяным углеводородам биочар служит сорбентом и стимулятором нативной биоты почвы.

Биологический препарат, обладающий биофунгицидным действием в отношении грибов рода *Fusarium*, на основе консорциума штаммов аэробных спорообразующих бактерий *Bacillus amyloliquefaciens* V3.14 и R4.6, *Paenibacillus polymyxa* R5.31, а также *Paenibacillus peoriae* O1.27, O2.11, R3.13, R4.5 и R6.14, и *Paenibacillus jamilae* K1.14, R4.24 был разработан в лаборатории новых биопрепаратов Академии биологии и биотехнологии Южного федерального университета [21]. В данном исследовании этот бактериальный препарат вносили в дозе, соответствующей рекомендуемой 20 мл/га, что эквивалентно 7500 КОЕ/кг почвы (1БП). Такая доза применяется на сельскохозяйственных полях для подавления грибов р. *Fusarium* при обработке растений по листу. В связи с тем, что для разложения нефтяных углеводородов необходима значительная концентрация бактерий, дополнительно была исследована в 100 раз большая доза препарата (100БП).

Эксперимент по загрязнению почв нефтью и ремедиации биочаром и БП при различных комбинациях и методах внесения проводили в лабораторных условиях кафедры экологии и природопользования и молодежной лаборатории экобиотехнологий диагностики и охраны здоровья почв. Схема эксперимента представлена на рис. 1. Подготовленную почву, просеянную через сито 3 мм, развешивали по вегетативным сосудам объемом 300 мл. Повторность каждого варианта модельного эксперимента трехкратная.

Варианты с биочаром и нефтью предварительно увлажняли (влажность 35%) дистиллированной водой. После этого в почву вносили нефть – 5% массы почвы. Использовали нефть Новошахтинского НПЗ (г. Новошахтинск, Ростовская область), представляющую собой смесь углеводородов с плотностью 0,818 г/м³, массовыми долями серы 0,43%, механических примесей 0,0028%, воды 0,03%, с концентрацией хлористых солей 40,1 мг/дм³. Биочар вносили в почву в концентрации 1% массы почвы. Контролем служила почва без ремедиантов и нефти. Нефтезагрязненным фоном служила почва с нефтью без внесения биочара и БП. Варианты почвы с БП предварительно поливали водным раствором БП (1БП и 100БП), а затем в увлажненную почву вносили нефть. Все варианты внесения биочара и БП вместе с контролем (незагрязненная почва без ремедиантов и нефти) и фоном (загрязненная нефтью почва) инкубировали при влажности 33–35% и температуре 25–26 °C в течение 30 суток. В почву вносили бактериальный препарат в рекомендуемой дозе (1БП) и в 100 раз больше рекомендуемой (100БП). В варианте обработки с предварительной инокуляцией БП в биочар проводили замачивание подготовленного биочара в растворе бактериального препарата в течение 48 часов. По истечении времени инокуляции биочар с остатками раствора БП переносили в почву и увлажняли до необходимой влажности, далее в почву вносили нефть.



Рис. 1. Схема эксперимента по ремедиации нефтезагрязненной почвы с помощью самостоятельного, совместного применения биочара и БП, инокуляции биочара БП

Содержание нефти после различных вариантов обработки почвы анализировали экстракцией образцов почвы четыреххлористым углеродом с последующим определением оптической плотности экстракта на инфракрасном анализаторе ИКН-025¹. Содержание нефти в почве выражали в мг нефти на 1 кг почвы.

Для оценки экологического состояния почв после ремедиации определяли активности гидролазы и оксидоредуктазы, непосредственно связанных с циклом углерода в почве: инвертазы (класс гидролазы) и дегидрогеназы (класс оксидоредуктазы).

Для определения активности инвертазы (β -фруктофуранозидаза, сахараза, КФ 3.2.1.26) к каждому варианту почвы массой 1 грамм в трехкратной повторности приливали 3% раствор сахарозы и толуол. Колбы инкубировали в течение 24 часов при 30 °C. Активности инвертазы определяли по Бертрану в модификации Ф.Х. Хазиева [19]. Активность фермента выражали в мг глюкозы в 1 г почвы за 24 часа.

Активность дегидрогеназы (НАДФ-оксидоредуктазы, КФ 1.1.1.X) определяли по восстановлению трифенилтетразолия хлористого (ТТХ) до трифенилформазанов (ТФФ) в анаэробных условиях: в каждую

пробирку с почвой (1 г) приливали 1 мл ТТХ и 1 мл 0,1 М глюкозы. Пробирки инкубировали в вакуумном эксикаторе без воздуха в течение 24 часов [19]. Ферментативную выражали в мг ТФФ в 10 г почвы за 24 часа.

Статистическую обработку данных проводили с использованием STATISTICA 12.0 и Python 3.6.5 Matplotlib.

Результаты и обсуждение

Остаточное содержание нефти в почве

Остаточное содержание нефти в почве по истечении 30 суток эксперимента при внесении биочара и БП по отдельности или совместно, а также при инокуляции БП в биочар представлено на рис. 2. Внесение 1БП и 100БП не оказывало достоверного воздействия на разложение нефти. Внесение биочара привело к разложению нефти на 25% относительно нефтезагрязненного фона (без ремедиантов). Это может быть обусловлено сорбцией нефти из почвы биочаром. Подобное снижение содержания нефти наблюдали после внесения угольного сорбента в сточные воды [6, 18]. Также на скорость разложения нефти в почве после внесения биочара могут влиять разлагающие нефть микроорганизмы, простимулированные биочаром [13].

При совместном внесении биочара с бактериальным препаратом в дозах 1БП и 100БП установлено снижение содержания нефти на 79 и 36%, соответственно,

¹ ПНД Ф 16.1: 2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методы измерения массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органических, органоминеральных грунтах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. 1998. Доступно по ссылке <https://www.russiangost.com/p-162437-pnd-f-1612222-98.aspx>. Дата обращения: 12-04-2023.

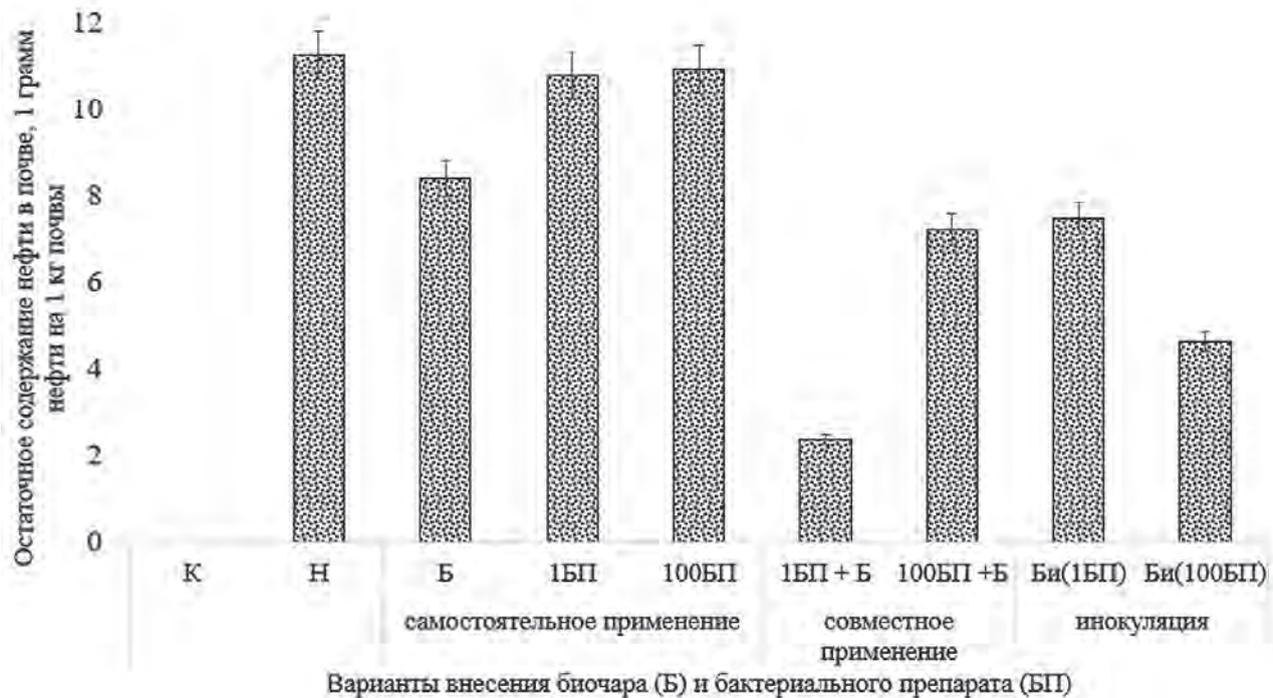


Рис. 2. Остаточное содержание нефти в черноземе обыкновенном после внесения биочара и бактериального препарата в различных вариантах внесения, г/кг почвы
 Обозначения: К – контроль; Н – нефть; Б – биочар; 1БП – бактериальный препарат в рекомендуемой дозировке; 100БП – бактериальный препарат в дозировке, в 100 раз превышающей рекомендуемую; Б+1БП – биочар с бактериальным препаратом в рекомендуемой дозировке; Б+100БП – биочар с бактериальным препаратом в дозировке, в 100 раз превышающей рекомендуемую; Би(1БП) – биочар, инокулированный бактериальным препаратом в рекомендуемой дозировке; Би(100БП) – биочар, инокулированный бактериальным препаратом в дозировке в 100 раз выше рекомендуемой.
 Примечание: представлены средние и 95% доверительные интервалы

при сравнении с нефтезагрязненным фоном без ремедиантов. При инокуляции биочара бактериальным препаратом установлено снижение содержания нефти при 1БП и 100БП на 33 и 59%, соответственно, относительно фонового содержания нефти. Внесение биочара с 1БП было более эффективно, поскольку совмещены механизмы адсорбции нефти (биочар) и стимуляции разложения нефти с помощью БП. Более высокая дозировка 100БП при разложении нефти в почве была менее эффективной, возможно потому, что бактерии очень требовательны к условиям среды, включая температуру (до 40 °С), влажность и наличие питательных элементов в почве [17].

Вероятно, что внесение биочара, обработанного БП, менее эффективно, чем совместное внесение биочара и БП, потому что на деградацию нефти суспендированными (совместно внесенными с биочаром) и иммобилизованными на биочаре микроорганизмами значительно влияет температура: при 22 °С биodeградация нефти эффективнее осуществлялась иммобилизованными клетками, а при 38 °С – суспендированными [12]. На эффективность иммобилизации также оказывает влияние длительность ремедиации [25, 31].

Изменение активности инвертазы

При внесении биочара и БП по отдельности активность инвертазы не отличалась от таковой в нефтезагрязненном фоне (рис. 3).

Только при внесении 100БП наблюдали стимуляцию активности фермента на 18% относительно нефтезагрязненного фона. При совместном применении биочара с 1БП и биочара с 100БП установлена стимуляция активности фермента на 25 и 15% относительно таковой у нефтезагрязненного фона. При инокуляции 1БП в биочар достоверные отличия от нефтезагрязненного фона не выявлены, а при инокуляции 100БП в биочар установлено ингибирование активности инвертазы на 13% относительно таковой в нефтезагрязненном фоне. Известно, что активность инвертазы тесно связана с влажностью почвы. В модельном эксперименте влажность почвы в течение всего эксперимента поддерживалась на одинаковом уровне (контроль проводили с помощью влагомера) и на момент окончания эксперимента влажность составляла 30%. В связи с этим только при совместном применении биочара и БП, а также 100БП при данной влажности почвы установлена максимальная стимуляция активности фермента.

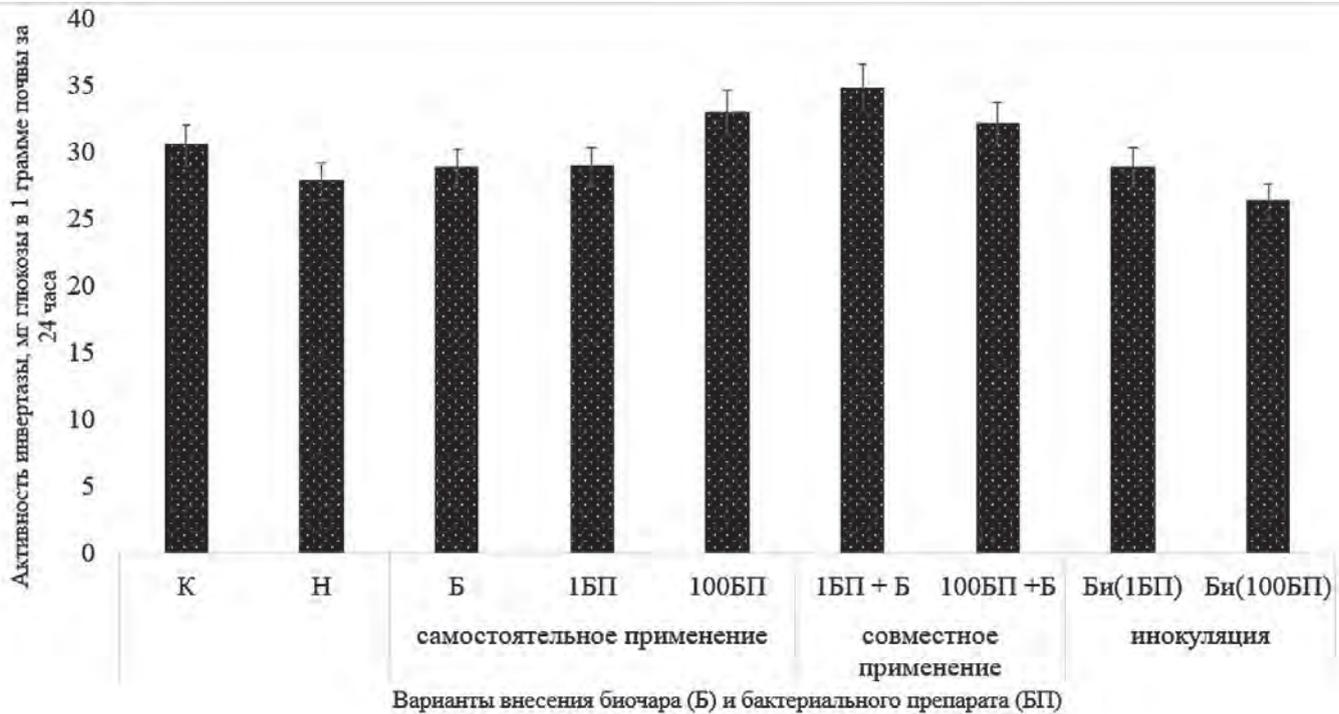


Рис. 3. Изменение активности инвертазы после внесения биочара и бактериальным препаратом, мг глюкозы / 1 г / 24 часа.

Примечание: обозначения вариантов эксперимента те же, что на рис. 2

Изменение активности дегидрогеназ

Активность дегидрогеназ при внесении биочара достоверно не отличалась от контроля. При внесении же бактериального препарата в дозах 1БП и 100БП установлена стимуляция активности дегидрогеназ на 20 и 49% соответственно (рис. 3).

При совместном применении биочара с бактериальным препаратом стимуляция активности дегидрогеназ составила при дозах 1БП и 100БП на 65 и 20% соответственно. При инокуляции биочара бактериальным препаратом стимуляция установлена только с 1БП – на 28%. Применение инокуляции 100БП в биочар вызвало ингибирование активности фермента на 18%.

Для оценки информативности показателей были рассчитаны коэффициенты корреляции (r) между остаточным содержанием нефти и изменением активности инвертазы и дегидрогеназ. При воздействии ремедиантов по отдельности стимуляция активности инвертазы обнаружена при внесении 100БП, однако содержание нефти при этом не отличалось от фона ($r = 0,18$). При внесении 1БП+Б, 100БП+Б установлена отрицательная корреляция по активности инвертазы ($r = -0,98$) и по активности дегидрогеназ ($r = -0,98$). При инокуляции биочара 1БП активность инвертазы была простимулирована на 15%, а при инокуляции биочара 100БП достоверного от-

личия от фона не обнаружено ($r = 0,53$). Инокуляция биочара БП не оказывала достоверного воздействия на активность дегидрогеназ, при инокуляции биочара 100БП оказывала ингибирующее воздействие ($r = 0,31$). Внесение нефти в почву ингибирует активность ферментов как класса оксидоредуктазы (дегидрогеназы), так и класса гидролазы (инвертаза). Ранее было установлено, что участие инвертазы в цикле углерода в почве является маркером экологического состояния почвы при различных видах антропогенного воздействия [11, 15, 29]. При углеводородном загрязнении активность инвертазы вместе с эмиссией CO_2 является наиболее чувствительным показателем состояния почвы после внесения азотных и гуминовых ремедиантов [10]. Активность дегидрогеназ чернозема обыкновенного и бурой лесной почвы при загрязнении нефтью была наиболее информативной среди остальных ферментов класса оксидоредуктазы при внесении биочара, нитроаммофоса, гумата натрия и «Байкал ЭМ-1» [28].

В нашем исследовании установлено, что активность инвертазы и дегидрогеназ нефтезагрязненного чернозема зависела от формы внесения биочара и БП: более эффективно совместное внесение биочара и БП, чем самостоятельное внесение и инокуляция БП на биочаре. Основным фактором, влияющим на выбор метода внесения ремедиантов в нефтезагрязненную почву,

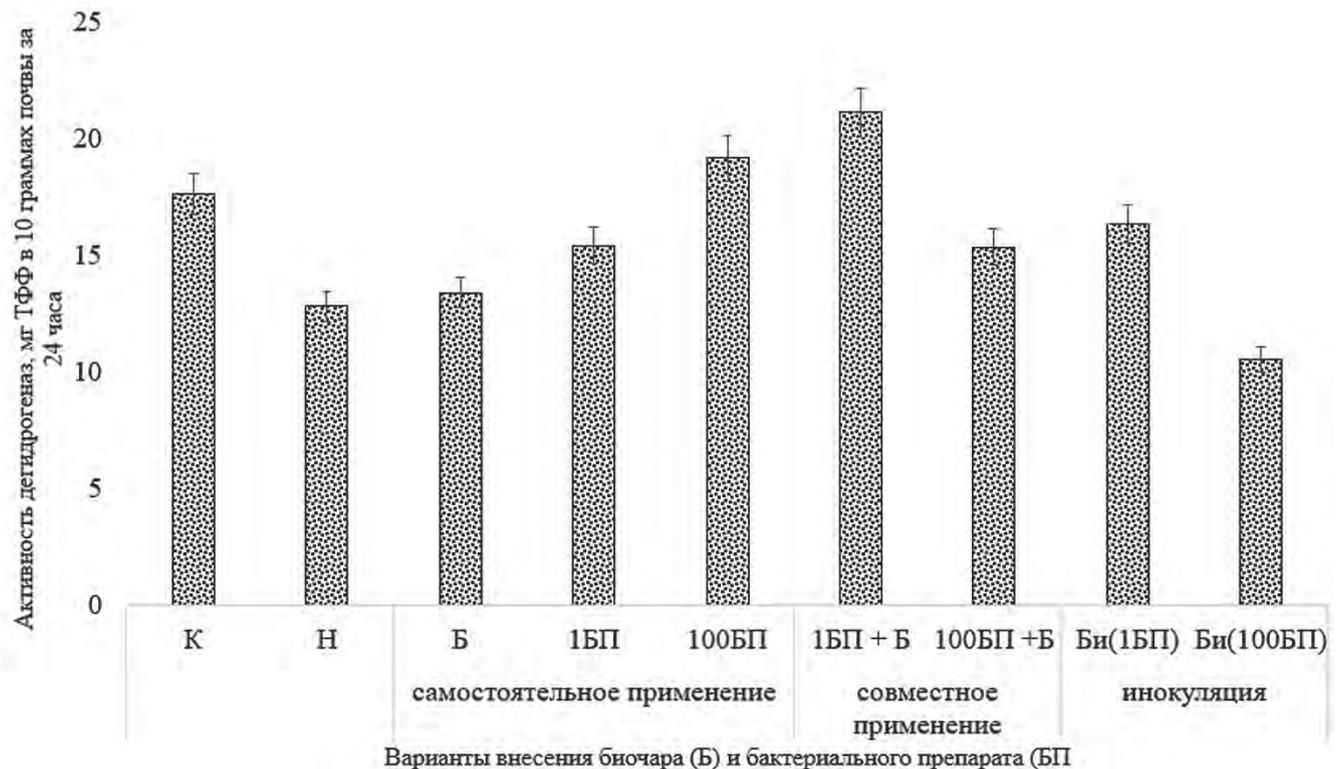


Рис. 4. Изменение активности дегидрогеназ после внесения биочара и бактериального препарата в различных вариантах внесения, мг ТФФ / 10 г / 24 часа.

Примечание: обозначения вариантов эксперимента те же, что на рис. 2

является температура почвы, поскольку при температуре выше 30 °С более эффективную жизнедеятельность осуществляют бактерии в суспендированном с биочаром виде, чем инокулированные на биочаре БП, для деятельности которых необходима более низкая температура (20–22 °С) [12]. Следует учитывать, что эффективность инокуляции может быть ярко выражена за более длительный период, чем для обычного внесения биочара и БП.

Использование биологических показателей экологического состояния почвы наряду с физико-химическими показателями позволит спрогнозировать воздействие загрязняющих веществ (в частности нефти и нефтепродуктов) на почву до и после ремедиации с использованием чувствительных индикаторов. Вместе с реализацией биогеосистемотехнических мер [8] это позволит использовать биологические показатели для нормирования содержания загрязняющих веществ в почве.

Заключение

В результате исследования было установлено, что активность инвертазы и дегидрогеназ нефтезагрязненной почвы после внесения биочара и бактериального препарата (БП) изменяется в зависимости от способа внесения биочара и БП. При совместном вне-

сении биочара и БП и инокуляции установлено наибольшее снижение остаточного содержания нефти. Наиболее эффективным является совместное внесение биочара и 1БП: установлена стимуляция активности инвертазы и дегидрогеназ при снижении остаточного содержания нефти в почве, что подтверждено высокими коэффициентами корреляции. Результаты исследования возможно использовать при оценке экологического состояния нефтезагрязненного чернозема, а также для организации и проведения природоохранных мероприятий по ремедиации почв.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») по созданию Молодежной лаборатории эковиотехнологий диагностики и охраны здоровья почв (№ СП-12-23-01), проекта Минобрнауки России «Лаборатория молодых ученых» в рамках Межрегионального научно-образовательного центра Юга России (№ ЛабНОЦ-21-01АБ, FENW-2021-0014).

Авторы выражают благодарность в предоставлении бактериального препарата профессору кафедры генетики Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского Южного федерального университета д.б.н. В.А. Чистякову.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Антоненко АМ, Занина ОВ. Влияние нефти на ферментативную активность аллювиальных почв Западной Сибири. Почвоведение. 1992;1:38-43.
2. Бикташева ЛР, Савельев АА, Курынцева ПА, Селивановская СЮ, Галицкая ПЮ. Оценка динамики количества генов, ответственных за деградацию нефтепродуктов в загрязненной почве. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2019;161.2:255-74. DOI: 10.26907/2542-064X.2019.2.255-274.
3. Бикташева ЛР, Селивановская СЮ, Галицкая ПЮ. Изменение структуры грибного сообщества почв при высоком содержании нефти в условиях модельного эксперимента. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2020;162.4:573-91. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.4.573-591.
4. Вальков ВФ, Казеев КШ, Колесников СИ. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону; 2008.
5. Галиева ГШ, Курынцева ПА, Галицкая ПЮ, Тагиров МШ, Селивановская СЮ. Влияние биочара из куриного помета на микроорганизмы и растения. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2021;163.2:221-37. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.2.221-237.
6. Домрачева ВА, Трусова ВВ, Остапчук ДЕ. Очистка сточных вод от нефтепродуктов с использованием углеродных сорбентов и отходов пенополимеров. Экология и промышленность России. 2017;21.11:25-9. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-11-25-29.
7. Жаббаров ЗА, Номозов УМ, Бахранова МФ, Абдукаримов ЖЖ. Изменение ферментативной активности нефтезагрязненных почв. Научное обозрение. 2023;1:18-23.
8. Калиниченко ВП, Глинушкин АП, Свидзинский АВ, Минкина ТМ, Будынков НИ, Филиппчук ОД, Околелова АА, Макаренков ДА. Методология биогеосистемотехники для здоровья и продуктивности почвы (обзор). Биосфера. 2022;14.3:175-92. DOI: 10.24855/biosfera.v14i3.694.
9. Кузина ЕВ, Рафикова ГФ, Мухаматдырова СР, Шарипова ЮЮ, Коршунова ТЮ. Биологическая активность чернозема выщелоченного при нефтяном и хлоридно-натриевом загрязнении и влияние на нее обработки галотолерантными бактериями-нефтедеструкторами. Почвоведение. 2023;1:89-101. DOI: 10.31857/S0032180X22600718.
10. Минникова ТВ, Колесников СИ, Денисова ТВ. Влияние азотных и гуминовых удобрений на биохимическое состояние нефтезагрязненного чернозема. Юг России: Экология, развитие. 2019;14.2:189-201. DOI: 10.18470/1992-1098-20192-189-201.
11. Минникова ТВ, Русева АС, Колесников СИ. Оценка ферментативной активности нефтезагрязненного чернозема после биоремедиации. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022;5:5-20. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-5-5-20.
12. Муратова АЮ, Панченко ЛВ, Дубровская ЕВ, Любунь ЕВ, Голубев СН, Сунгурцева ИЮ, Захаревич АМ, Бикташева ЛР, Галицкая ПЮ, Турковская ОВ. Биоремедиационный потенциал иммобилизованных на биочаре бактерий *Azospirillum brasilense*. Микробиология. 2022;91.5:554-64. DOI: 10.31857/S0026365622100263.
13. Мязин ВА, Исакова ЕА, Васильева ГК. Влияние гранулированного активированного угля на скорость биоремедиации почв Мурманской области, исторически загрязненных нефтепродуктами. Проблемы региональной экологии. 2020;2:20-6. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-12020.
14. Новоселова ЕИ, Киреева НА. Ферментативная активность почв в условиях нефтяного загрязнения и ее биодиагностическое значение. Теоретическая и прикладная экология. 2009;2:4-12.
15. Поляк ЮМ, Сухаревич ВИ. Почвенные ферменты и загрязнение почв: биodeградация, биоремедиация, биоиндикация. Агрохимия. 2020;3:83-93. DOI: 10.31857/S0002188120010123.
16. Смирнова ЕВ, Гиниятуллин КГ, Валеева АА, Ваганова ЕС. Пироугли как перспективные почвенные мелиоранты: оценка содержания и спектральные свойства их липидных фракций. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2018;160.2:259-75.
17. Созина ИД, Данилов АС. Микробиологическая ремедиация нефтезагрязненных почв. Записки Горного института. 2023;260:297-312. DOI: 10.31897/PMI.2023.8.
18. Трусова ВВ. Угольно-сорбционная технология очистки нефтесодержащих сточных и оборотных вод. Водоочистка. 2014;12:32-41.
19. Хазиев ФХ. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука; 2005. С. 252.
20. Хазиев ФХ, Фатхиев ФФ. Изменение биохимических процессов в почвах при нефтяном

загрязнении и активация разложения нефти. *Агрохимия*. 1981;1.10:102-11.

21. Чистяков ВА, Горовцов АВ, Усатов АВ, Праздников ЕВ, Мазанко МС, Брен АБ, Усатова ОА, Васильченко НГ. Патент № 2751487 С1 Россия, МПК: А01Н 63/22; Способ получения жидкой питательной среды и способ получения жидкого микробиологического средства на основе смеси штаммов спорообразующих бактерий-антагонистов фитопатогенных грибов Фузариоз: № 2020122106: приоритет от 03.07.2020: публикация: 14.07.2021.
- Общий список литературы/References**
1. Antonenko AM, Zanina OV. [The influence of oil on the enzymatic activity of alluvial soils of Western Siberia]. *Pochvovedeniye*. 1992;1:38-43. (In Russ.)
 2. Biktasheva LR, Savelyev AA, Kuryntseva PA, Selivanovskaya SY, Galitskaya PY. [Assessment of the dynamics of the number of genes responsible for the degradation of petroleum products in contaminated soil]. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta Seriya Yestestvennye Nauki*. 2019;161.2:255-74. DOI: 10.26907/2542-064X.2019.2.255-274. (In Russ.)
 3. Biktasheva LR, Selivanovskaya SY, Galitskaya PY. [Changes in the structure of the fungal community of soils with high oil content under the conditions of a model experiment]. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta Seriya Yestestvennye Nauki*. 2020;162.4:573-591. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.4.573-591. (In Russ.)
 4. Val'kov VF, Kazeyev KSh, Kolesnikov SI. *Pochvy Yuga Rossii*. [Soils of the South of Russia]. Rostov-on-Don; 2008. P. 275. (In Russ.)
 5. Galiyeva GS, Kuryntseva PA, Galitskaya PYu, Tagirov MS, Selivanovskaya SY. [The influence of biochar from chicken manure on microorganisms and plants]. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta Seriya Yestestvennye Nauki*. 2021;163.2:221-37. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.2.221-237. (In Russ.)
 6. Domracheva VA, Trusova VV, Ostapchuk DE. [Purification of wastewater from petroleum products using carbon sorbents and waste polymer foams]. *Ekologiya i Promyshlennost Rossii*. 2017;21.11:25-9. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-11-25-29. (In Russ.)
 7. Zhabbarov ZA, Nomozov UM, Bakhranova MF, Abdugarimov LJ. [Changes in the enzymatic activity of oil-contaminated soils]. *Nauchnoye Obozreniye*. 2023;1:18-23. (In Russ.)
 8. Kalinichenko VP, Glinushkin AP, Svidzinsky AV, Minkina TM, Budynkov NI, Filipchuk OD, Okolelova AA, Makarenkov DA. [Biogeosystems methodology for soil health and productivity (review)]. *Biosfera*. 2022;14.3:175-92. DOI: 10.24855/biosfera.v14i3.694. (In Russ.)
 9. Kuzina YeV, Rafikova GF, Mukhamatdyarova SR, Sharipova YuYu, Korshunova TYu. [Biological activity of chernozem leached due to oil and sodium chloride pollution and the influence of treatment with halotolerant oil-destroyer bacteria on it]. *Pochvovedeniye*. 2023;1:89-101. DOI: 10.31857/S0032180X22600718. (In Russ.)
 10. Minnikova TV, Kolesnikov SI, Denisova TV. [The influence of nitrogen and humic fertilizers on the biochemical state of oil-contaminated chernozem]. *Yug Rossii Ekologiya Razvitiye*. 2019;14.2:189-201. DOI: 10.18470/1992-1098-20192-189-201000. (In Russ.)
 11. Minnikova TV, Ruseva AS, Kolesnikov SI. [Assessment of enzymatic activity of oil-contaminated chernozem after bioremediation]. *Izvestiya Timiriyevskoy Selskokhoziyaistvennoy Akademii*. 2022;5:5-20. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-5-5-20. (In Russ.)
 12. Muratova AY, Panchenko LV, Dubrovskaya EV, Lyubun EV, Golubev SN, Sungurtseva IY, Zakharevich AM, Biktasheva LR, Galitskaya PY, Turkovskaya OV. [Bioremediation potential of *Azospirillum brasilense* bacteria immobilized on a biochar]. *Mikrobiologiya*. 2022;91.5:554-64. DOI: 10.31857/S0026365622100263. (In Russ.)
 13. Miazin VA, Isakova YeA, Vasilyeva GK. [Influence of granular activated carbon on the rate of bioremediation of soils in the Murmansk region historically contaminated with petroleum products]. *Problemy Regionalnoy Ekologii*. 2020;2:20-6. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-12020. (In Russ.)
 14. Novoselova YeI, Kireyeva NA. [Enzymatic activity of soils under conditions of oil pollution and its biodiagnostic significance]. *Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya*. 2009;2:4-12. (In Russ.)
 15. Poliak YM, Sukharevich VI. [Soil enzymes and soil pollution: biodegradation, bioremediation, bioindication]. *Agrokhimiya*. 2020;3:83-93. DOI: 10.31857/S0002188120010123. (In Russ.)
 16. Smirnova YeV, Giniyatullin KG, Valeyeva AA, Vaganova YeS. [Pyrochars as promising soil ameliorants: assessment of the content and spectral properties of their lipid fractions]. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta Seriya Yestestvennye Nauki*. 2018;160.2:259-75. (In Russ.)
 17. Sozina ID, Danilov AS. [Microbiological remediation of oil-contaminated soils]. *Zapiski Gornogo Instituta*. 2023;260:297-312. DOI: 10.31897/PMI.2023.8. (In Russ.)
 18. Trusova VV. [Coal-sorption technology for purification of oil-containing waste and recycled water]. *Vodochistka*. 2014;12:32-41. (In Russ.)

19. Khaziev FKh. Metody Pochvennoy Enzimologii. [Methods of Soil Enzymology]. Moscow: Nauka; 2005. (In Russ.)
20. Khaziev FKh, Fathiev FF. [Changes in biochemical processes in soils during oil pollution and activation of oil decomposition]. Agrochemistry. 1981;1.10:102-11. (In Russ.)
21. Chistiakov VA, Gorovtsov AV, Usatov AV, Prazdnikova EV, Mazanko MS, Bren AB, Usatova OA, Vasilchenko NG. Patent No. 2751487 C1 Russia, IPC: A01N 63/22; [Method for producing a liquid nutrient medium and a method for producing a liquid microbiological product based on a mixture of strains of spore-forming bacteria antagonists of phytopathogenic fungi Fusarium: No. 2020122106: priority from 07/03/2020: publication 07/14/2021]. (In Russ.)
22. Anigboro AA, Tonukari NJ. Effect of crude oil on invertase and amylase activities in cassava leaf extract and germinating cowpea seedlings. Asian J Biol Sci. 2008;1:56-60.
23. Chen S, Zhong M. Bioremediation of petroleum-contaminated soil. Environ Chem Recent Pollut Control Approaches. 2020; 34:161-72. DOI:10.5772/intechopen.90289.
24. Cui JQ, He QS, Liu MH, Chen H, Sun MB, Wen JP. Comparative study on different remediation strategies applied in petroleum-contaminated soils. Int J Environ Res Public Health 2020;17:1606. DOI: 10.3390/ijerph17051606.
25. Guo S, Liu X, Tang J. Enhanced degradation of petroleum hydrocarbons by immobilizing multiple bacteria on wheat bran biochar and its effect on greenhouse gas emission in saline-alkali soil. Chemosphere. 2021;286:131663. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131663.
26. Korneykova M, Myazin V, Fokina N. Restoration of oil-contaminated soils in mountain tundra (Murmansk Region, Russia). In: Systems Thinking and Moral Imagination. Berlin/Heidelberg: Springer International Publishing; 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-16091-3_21.
27. Mamedova FM, Huseynova MA. Assessment of some indices of oil-contaminated soils on the example of the Absheron Peninsula. East Eur Sci J. 2021;4(1):53-4.
28. Minnikova T, Kolesnikov S, Minin N, Gorovtsov A, Vasilchenko N, Chistyakov V. The influence of remediation with *Bacillus* and *Paenibacillus* strains and biochar on the biological activity of petroleum-hydrocarbon-contaminated haplic chernozem. Agriculture. 2023;13(3):719. DOI: 10.3390/agriculture13030719.
29. Mokrikov G, Minnikova T, Kazeev K, Kolesnikov S. Use of soil enzyme activity in assessing the effect of No-Till in the South of Russia. Agronomy Research. 2021;19(1):171-84. DOI: 10.15159/AR.20.240.
30. Yu Y, Zhang Y, Zhao N, Guo J, Xu W, Ma M, Li X. Remediation of crude oil-polluted soil by the bacterial rhizosphere community of *Suaeda salsa* revealed by 16S rRNA genes. Int J Environ Res Public Health. 2020;17:1471. DOI: 10.3390/ijerph17051471.
31. Zhang B, Zhang L, Zhang X. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by petroleum-degrading bacteria immobilized on biochar. RSC Advances. 2019;9:35304-11. DOI: 10.1039/c9ra06726d.



СИВУЧ (*EUMETOPIAS JUBATUS* SCHREBER, 1776) И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО – ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНКУРЕНЦИИ ЗА ОБЩИЕ ВИДЫ ГИДРОБИОНТОВ

И.А. Усатов¹, И.С. Труханова², А.В. Алтухов³,
В.Н. Бурканов³

¹ Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия; ² Служба рыбы и дикой природы; г. Сиэтл, США; ³ Лаборатория по изучению морских млекопитающих Аляскинского рыбохозяйственного центра НСМР/НОАА, г. Сиэтл, США

* Эл. почта: Usatov.ivan.alex@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; принята к печати 02.02.2024

Проведено сравнение состава рациона сивуча со структурой вылова коммерческого рыболовства в районах лежбищ этого вида. Для этого использовали данные Информационной системы рыболовства в акваториях 19 лежбищ сивуча Дальнего Востока России за 2000-е годы. Показано, что основной рацион сивуча состоит из промысловых гидробионтов, специфичных для каждого региона. Отмечено, что популяционные тренды сивуча негативны в регионах с высокой промысловой нагрузкой (Камчатка), разнонаправлены в регионе с умеренной интенсивностью промысла (Курильские о-ва) и имеют положительную динамику в районах с низкой промысловой нагрузкой (Охотское море). В зимнее время конкуренция сивуча с коммерческим рыболовством может быть более интенсивной, чем в летнее, поскольку обилие гидробионтов на мелководье значительно снижается. Это вынуждает промысел смещаться в более глубокие воды, а сивучей – совершать более длительные кормовые походы и более глубокие погружения в поисках добычи. Это приводит к более высоким затратам энергии у сивуча на добычу пищи в зимний период, чем в другие сезоны года. Беременные самки и самки с зависимым потомством являются наиболее уязвимыми к негативным последствиям недостатка пищи, что приводит к снижению их выживаемости и частоты родов. Критический недостаток пищи может привести к необходимости прерывания беременности и продлению периода лактации для повышения выживаемости зависимого потомства.

Ключевые слова: сивуч, коммерческое рыболовство, государственная Информационная Система Рыболовства, пищевые ресурсы, конкуренция.

STELLER SEA LION (*EUMETOPIAS JUBATUS* SCHREBER, 1776) AND COMMERCIAL FISHERIES – COMPETITION FOR SHARED SPECIES

I.A. Usatov¹, I.S. Trukhanova², A.V. Altukhov³, V.N. Burkanov³

¹ A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok, *Кгьышф*;

² Fish and Wildlife Service; Seattle, WA, USA; ³ Marine Mammal Laboratory, AFSC, NMFS, NOAA, Seattle, WA, USA

Email: Usatov.ivan.alex@gmail.com

The composition of the Steller sea lion's diet was compared with the catch structure of commercial fisheries in the rookery areas of this species. To achieve this, data from the information system of fisheries in the water areas of 19 Steller sea lion sites in the Russian Far East for the 2000s were used. The study reveals that the primary diet of the Steller sea lion consists of region-specific commercial species. Notably, population trends for Steller sea lions differ across regions: negative in areas with high fishing pressure (Kamchatka), multidirectional in regions with moderate fishing intensity (Kurul Islands), and positive dynamics in areas with low fishing pressure (Sea of Okhotsk). Competition between Steller sea lions and commercial fisheries appears more intense in winter than in summer, as the abundance of hydrobionts in shallow waters is significantly reduced. Consequently, fisheries are forced to shift to deeper waters, and Steller sea lions undertake longer foraging trips and deeper dives to find prey. As a result, Steller sea lions experience higher energy expenditure for food during winter compared to other seasons. Pregnant females and females with dependent offspring are particularly vulnerable to the negative effects of food deprivation, leading to reduced survival and birth frequency. In cases of critical food deficiencies, terminating pregnancies and prolonging the lactation period may be necessary to enhance the survival chances of dependent offspring.

Keywords: Steller sea lion, commercial fishing, State Fisheries Information System, food resources, competition.

Введение

Сивуч, или морской лев, *Eumetopias jubatus* (Schreber, 1776), питается рыбой и головоногими моллюсками разнообразных видов, многие из которых также являются объектами коммерческого промысла [15, 35, 36, 41]. Интенсивный коммерческий промысел снижает общую биомассу объектов питания сивуча и может рассеивать крупные скопления рыб [22, 23, 26, 30, 31, 42, 44] и таким образом может снижать эффективность поиска и добычи пищи сивуча и конкурировать с ним, изменяя численность, состав, плотность и распределение доступной добычи. Снижение доступности пищи может привести к затруднениям в питании и дефициту удовлетворения энергетических потребностей животных [18, 39]. Неблагоприятное физиологическое состояние особей, вызванное недостатком количества, качества или доступности добычи, может замедлить рост, снизить плодовитость и увеличить смертность от болезней, хищников и голода [34, 38]. Истощение локальных кормовых ресурсов сивуча может быть фактором снижения численности его популяций на отдельных участках ареала, так как этот вид зависит от концентрированных и предсказуемых источников пищевых ресурсов вблизи берега, которые также играют ключевую роль для прибрежного рыболовства [25, 28]. Исследования морских львов в неволе показали снижение эффективности кормодобывания при уменьшении плотности скоплений объектов питания [24]. Таким образом, изменения в рыбных сообществах, вызванные промышленным рыболовством, могут снижать доступность пищи для сивуча и влиять на состояние его популяций.

Ареал сивуча охватывает северную часть Тихого океана от побережья Северной Америки до берегов Азии [16, 20]. Во второй половине прошлого века численность сивуча катастрофически сократилась на большей части ареала, а некоторые лежбища полностью исчезли [20]. Упадок популяций сивучей [20] совпал с интенсификацией прибрежного коммерческого рыболовства [28, 29]. Поэтому для сохранения вида в восточной части ареала были определены критические места обитания, играющие ключевую роль в обеспечении животных пищей [25]. В 20-мильной зоне вокруг всех лежбищ сивуча в заливе Аляска и на Алеутских о-вах был введен запрет рыбного промысла, который устранил конкуренцию за пищевые ресурсы с промышленным рыболовством и случайную гибель животных в орудиях лова [25, 28]. Шельф Дальнего Востока России (ДВР) также является районом интенсивного промышленного рыболовства в течение всех сезонов года [5, 6, 11], однако меры охраны сивуча в западной части его ареала в течение всего периода сокращения состояли лишь в запрете на его промысел и внесении в федеральную и региональные Красные книги [7, 8].

В настоящей работе с использованием информации о рационе питания животных [13–15, 41] и данных о коммерческом улове [29] рассмотрен вопрос о конкуренции между сивучом и коммерческим рыболовством за общие ресурсы гидробионтов. Как и сивуч, промысел ориентирован на предсказуемые скопления гидробионтов, которые промысловые суда находят, опираясь при этом на данные о выловах прошлых лет, результаты рыбопоисковых экспедиций и информацию о наличии необходимого объекта промысла, получаемую в реальном времени с эхолота судна. Следовательно, может наблюдаться совпадение в пространстве и времени районов промысла рыбы с местами кормления сивуча.

Анализ и интерпретации данных по рыболовству, полученных с помощью Информационной Системы Рыболовства (ИСП), а также возможного воздействия рыболовства на сивуча за период 2010-х годов уже посвящен ряд публикаций [1, 4–6, 11]. Алтухов и соавт. [1] изучили интенсивность промысла минтая *Theragra chalcogramma* (Pallas, 1814) в акваториях лежбищ на Дальнем Востоке России и сравнили ее с выживаемостью и репродуктивным успехом самок сивуча. Было отмечено, что вероятность пропуска родов у самок положительно коррелировала с изменениями в интенсивности вылова минтая. Было предположено, что интенсивный промысел в районах лежбищ морских львов снижает доступность пищи для самок, что приводит к снижению их репродуктивной активности. Бурканов и соавт. [4] рассмотрели промысел главных кормов сивуча у лежбищ на восточном побережье Камчатки и в западной части Берингова моря. Было показано, что до 31% вылова пришлось на 30-мильные акватории у лежбищ. При этом у восточного побережья Камчатки основной объем вылова кормовых объектов сивуча (90%) приходился на акватории, расположенные вблизи лежбищ.

Цель данной работы состояла в оценке возможной конкуренции между сивучом и коммерческим рыболовством за ресурсы гидробионтов в районе акваторий, прилегающих к лежбищам. В отличие от предыдущих исследований [1, 4–6, 11] в данной работе рассмотрены все регионы, по которым имелись данные о рационе питания сивуча, и рацион сопоставлен со структурой коммерческого рыболовства с целью определить региональные различия в интенсивности воздействия рыболовства на кормовые ресурсы этого вида.

В настоящей работе решались следующие задачи:

- описать структуру коммерческого вылова в акваториях лежбищ сивуча, выделить ключевые объекты промысла, сезонные различия объемов вылова и глубин ведения промысла;
- сравнить состав уловов основных промысловых видов с составом рациона сивуча и выделить общие виды в каждом регионе;

- описать региональную специфику вылова ключевых объектов промысла, играющих важную роль в составе рациона сивуча;
- сопоставить выявленные региональные особенности промысла с популяционными трендами сивуча и выделить регионы с наибольшим давлением промышленного рыболовства на совместно используемые ресурсы гидробионтов.

Материалы и методы

В анализе использовали данные обязательных ежедневных судовых суточных донесений (ССД) рыболовных судов в государственную Информационную систему рыболовства [9] за период с 1 января 2000 года до 1 января 2010 года. Данные были предоставлены Камчатским отделом центра системы мониторинга рыболовства и связи (ФГБУ ЦСМС) (https://www.cfmc.ru/filialy-i-otdely/kamchatskiy_filial/). Судовое суточное донесение представляет из себя отчет судна о работе за сутки и включает следующую информацию: дата и район промысла, виды и объемы выловленной рыбы, тип орудия лова, продолжительность и число промысловых операций, координаты нахождения/работы судна и др.

Для настоящего анализа использовали только две основные таблицы ИСП: “Catch” (табл. 1) и “Pos” (табл. 2). В таблице “Catch” показаны значения улова по промысловым видам за отчетный день для каждого судна. Таблица “Pos” содержит координаты судна по треку за отчетные сутки с указанием времени подачи координат.

Для проверки наличия географических координат в данных о вылове проанализировали таблицу “Catch” с использованием данных из таблицы “Pos”. Для этого применяли языки программирования SQLite и R [<http://r-project.org/>].

Для оценки влияния промышленного рыболовства на сивуча рассматривали промысловые операции в 20-мильной зоне вокруг 19 лежбищ Дальнего Востока России (рис. 1).

Рассмотрены те лежбища, где рацион зверей был ранее подробно проанализирован и опубликован [13–15, 41]. Радиус в 20 миль использовали на основании того, что сивучи кормятся в большинстве случаев на удалении до 20 миль от лежбища. Именно поэтому такая охранная акватория была введена вокруг лежбищ этого вида у Алеутской гряды и в заливе Аляска [25, 28]. Из анализа данных по рыболовству

Табл. 1

Структура таблицы Catch

Наименование поля	Данные
id_ves	Код судна
date	Отчетная дата
id_region	Код района промысла
id_fish	Код объекта промысла
catch_volume	Вылов за сутки, тонн
catch_volume_total	Накопительный вылов, тонн
id_regime	Код режима промысла
permit	Номер разрешения на промысел
id_own	Код судовладельца (владельца квоты)

Табл. 2

Структура таблицы Pos

Наименование поля	Данные
id_ves	Код судна
datetime	Дата и время
latitude	Широта
longitude	Долгота

были исключены записи об уловах видов, которые не являются объектами питания сивуча (бентос, морские водоросли и т. п.) [15, 35, 36, 41].

Главным недостатком отчетов ССД было отсутствие точных координат каждой промысловой операции (траления). Использовали все путевые точки судна во время промысла и принимали каждую точку в течение промысловых операций как позицию вылова. Судно могло проводить лишь часть промыслового дня в пределах 20-мильной зоны, и было невозможно разделить объем ежедневного вылова по местам тралений. Поэтому в таких случаях весь суточный вылов считали выловом в пределах 20-мильной зоны лежбища.

В ряде исследований указано на несоответствия между официальными статистическими данными и реальными величинами и составом улова [2, 10, 11]. Одной из главных причин этого несоответствия является использование промыслом только части улова, в то время как прилов выбрасывается [2]. В целом, объем неучтенного прилова составляет около трети

мирового улова, но может сильно различаться в зависимости от района, промысла и используемых орудий лова и в отдельных случаях значительно превышать объемы вылова целевого объекта промысла [33].

Данные о позиции судов в таблице “Pos” указаны с погрешностью в два часа [9]. Тем не менее, полагали, что указанные ошибки в ИСР не носят систематического характера и могут быть нивелированы при использовании данных за 10-летний период. Именно поэтому решили рассматривать все данные ИСР как информацию, отражающую реальную работу судов, несмотря на возможные неточности, и не вносить коррективы.

В качестве показателей интенсивности промысла у лежбищ использовали «судосутки на лову» [5], а медианный объем вылова на судосутки и помесечные уловы использовались как показатель успеха промысла. Оценили глубины ведения промысловых операций для донных орудий лова. Рассматривали сезонные вариации интенсивности рыболовства и глубин ведения промысла.

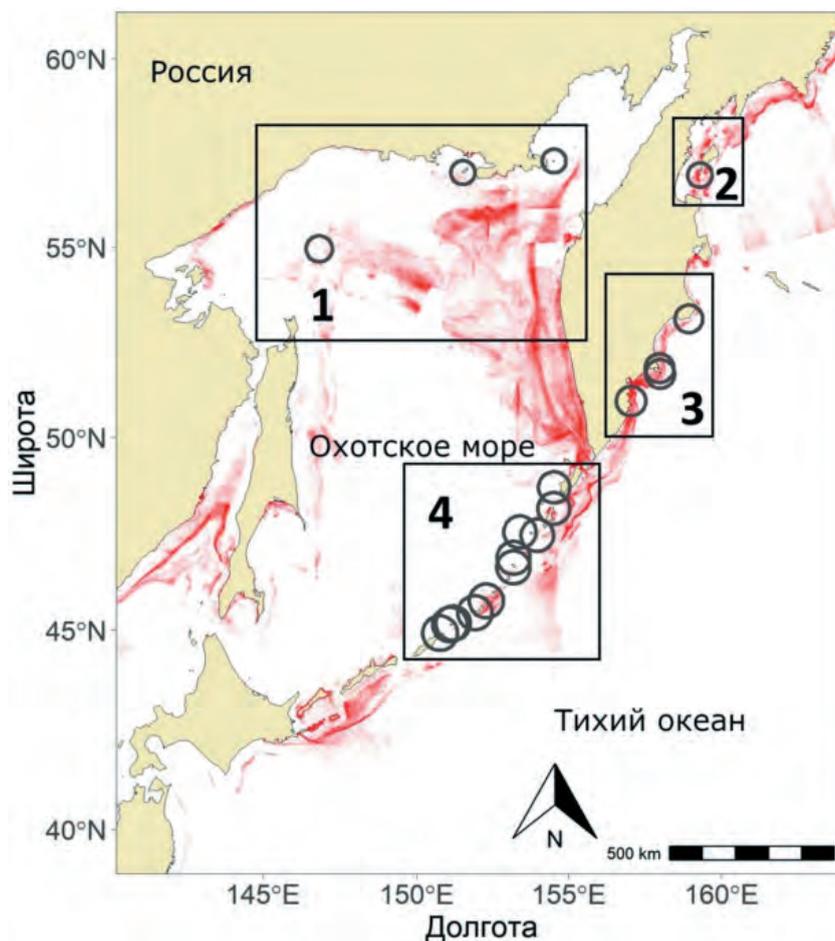


Рис. 1. Район исследования. Позиции рыбного промысла показаны красным цветом. Круги охватывают радиус 20 миль вокруг анализируемых лежбищ. Регионы исследования: 1 – северная часть Охотского моря; 2 – о-в Карагинский; 3 – восточное побережье Камчатки; 4 – Курильские о-ва

Акватории лежбищ ($N = 19$) разделили на регионы, соответствующие выделенным ранее при исследованиях питания сивуча у побережья Азии: Курильские о-ва, п-ов Камчатка (южная часть), восточное побережье п-ова Камчатка (северная часть), северная часть Охотского моря [15, 41].

В каждом регионе были определены ключевые виды рыболовства, вклад которых в общий улов в 2000–2010 годах составлял более 5%. Нулевой гипотезой считали отсутствие различий между регионами и сезонами года по объемам вылова ключевых видов и глубинам ведения промысловых операций. Выявленные региональные различия в структуре вылова ключевых промысловых видов были сравнены с популяционными трендами и сочтены индикаторами риска конкуренции сивуча и коммерческого рыболовства.

Разделили исследованные акватории на квадраты по 20 миль и суммировали уловы всех гидробионтов

за 10 лет (2000–2010) и отдельно уловы кормовых объектов сивуча, выловленных в акваториях лежбищ. Кормовые объекты сивуча были определены в соответствии с видовым составом его рациона [15, 41].

Всего за период с 2000 по 2010 год на 2787 судах было зарегистрировано 1307850 судосуток по вылову (таблица “Catch”). За тот же период времени таблица координат (“Pos”) содержала 21237734 записи. Выбрали записи только тех судов, которые посещали районы лежбищ в течение суток и включали потенциальные пищевые компоненты сивуча в свой суточный улов. Всего таким фильтром было отобрано 931 судов и 65100 судосуток, выполнявших промысловые операции в акваториях лежбищ.

В работе использован визуальный анализ пространственного паттерна размещения точек промысла, величин вылова за 10 лет по квадратам и оценено пространственное распределение интенсивности рыболовства.

Табл. 3

**Количественная оценка промышленного рыболовства в акваториях лежбищ сивуча
Дальнего Востока России**

Регион	Лежбище	Число судов	Число судосуток	Вылов, т	Вылов на судосутки, т		
					Me	$Q_{0,25}$	$Q_{0,75}$
КК*	м. Кекурный	392	16441	134441	4,0	1,5	9,7
КК	м. Козлова (R)	38	147	2239	9,5	6,1	21,7
КК	м. Шипунский	365	11729	133044	5,6	2,2	13,4
КК	б. Железная	352	10793	122966	5,9	2,3	13,4
КК	Медиана	358	11261	128005	5,6	2,3	13,4
KUR	о. Анциферова (R)	338	3971	63366	6,2	2,2	20,0
KUR	о. Брат Чирпоев (R)	110	1062	26439	15,7	5,2	36,6
KUR	о. Чиринкотан	168	1552	47965	21,8	7,2	48,4
KUR	о. Чирпой, м. Удушливый	114	1086	27058	16,1	5,4	36,6
KUR	о. Магуа	185	2404	47630	11,4	3,9	30,7
KUR	о. Онекотан	406	7096	159512	11,0	3,4	31,1
KUR	о. Райкоке (R)	111	1260	26892	10,9	4,5	32,4
KUR	о. Шиашкотан, м. Красный	232	4051	116642	20,5	7,4	44,2
KUR	о. Симушир, м. Аронт	214	13172	237648	13,8	6,2	25,1
KUR	о. Симушир, м. Ск. Красноватая	192	15990	286325	14,0	6,5	25,1
KUR	о.Уруп, ск. Чайка	101	991	22721	14,6	4,0	35,0
KUR	Медиана	185	2404	47965	14,0	5,2	32,4
ОКН	о. Ионы (R)	59	135	7477	54,4	27,4	80,4
ОКН	Ямские о-ва (R)	11	18	549	21,0	2,4	47,1
ОКН	о. Завялова	169	2023	59348	16,0	6,0	40,0
ОКН	Медиана	59	135	7477	21,0	6,0	47,1
KRG	о. Карагинский	198	4861	60591	9,1	4,5	16,4

Примечания. * КК – п-ов Камчатка; KUR – Курильские о-ва; ОКН – северная часть Охотского моря; KRG – о. Карагинский; R – репродуктивные лежбища.

Для установления значимости различий между исследованными группами использовали непараметрический тест Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis test).

Представленные данные позволяют выявить районы с высоким или низким давлением промыслового рыболовства на кормовую базу животных, но не дают возможности произвести абсолютные расчеты биомассы выловленных гидробионтов и количественно оценить конкуренцию «сивуч – промысловое рыболовство».

Результаты Общий анализ

Наибольшая интенсивность промысла наблюдалась у лежбищ на восточном побережье Камчатки (табл. 3), составляя в медиане между акваториями 11261 судосуток за 10 лет ($Q_{0,25} = 8131$, $Q_{0,75} = 12907$), меньше – на Курильских о-вах ($Me = 2404$ судосуток, $Q_{0,25} = 1173$, $Q_{0,75} = 5574$), и менее всего – у лежбищ в

северной части Охотского моря ($Me = 135$ судосуток, $Q_{0,25} = 77$, $Q_{0,75} = 1079$). Однако, в противоположность этой тенденции, улов на судосутки был самым низким у лежбищ на восточном побережье Камчатки ($Me = 5,6$ т, $Q_{0,25} = 2,3$, $Q_{0,75} = 13,4$) и более высоким в регионах Курильских о-вов ($Me = 14,0$ т, $Q_{0,25} = 5,2$, $Q_{0,75} = 32,4$) и Охотском море ($Me = 21,0$ т, $Q_{0,25} = 6,0$, $Q_{0,75} = 47,1$) (табл. 1). Акватория вблизи лежбища на о-ве Карагинский занимала промежуточное состояние с точки зрения интенсивности промысла (4861 судосуток) и вылова на судосутки ($Me = 9,1$ т, $Q_{0,25} = 4,5$, $Q_{0,75} = 16,4$).

Основу добычи промышленного рыболовства в акваториях лежбищ составляли, как правило, массовые и промысловые виды рыб (табл. 4).

На долю других видов приходится незначительная часть улова, менее 5% объемов вылова отдельного региона. Для определения влияния наиболее распространенных видов промысла нами был

Табл. 4

Коммерческий вылов гидробионтов в акваториях лежбищ в 2000–2010 годы
(исключены промысловые объекты, которые не являются пищей сивуча)

Регион	Объект промысла	Вылов (т)	Доля (%)
КК*	Минтай <i>Theragra chalcogramma</i> (Pallas, 1814)	144970	54
КК	Терпуговые Hexagrammidae (Gill, 1889)	38417	14
КК	Тихоокеанская треска <i>Gadus macrocephalus</i> (Tilesius, 1810)	35259	13
КК	Камбаловые Pleuronectidae (Cuvier, 1816)	34670	13
КК	Рогатковые Cottidae (Bonaparte, 1831)	12378	5
КК	Другие (26 объектов)	3548	<5**
КК	Всего, Камчатка	269240	100
KUR	Терпуговые	271127	45
KUR	Минтай	176681	29
KUR	Кальмары Teuthida (Naef, 1916)	130163	21
KUR	Другие (33 объекта)	29332	<5
KUR	Всего, Курилы	607302	100
ОКН	Тихоокеанская сельдь <i>Clupea pallasii</i> (Valenciennes, 1847)	58586	87
ОКН	Минтай	3524	5
ОКН	Другие (15 объектов)	5266	<5
ОКН	Всего, Охотское море	67375	100
KRG	Минтай	28003	46
KRG	Тихоокеанская треска	22063	36
KRG	Камбаловые	5916	10
KRG	Другие (14 объектов)	4608	<5
KRG	Всего, о. Карагинский	60591	100

Примечания. *КК – Камчатка; KUR – Курильские о-ва; KRG – о-в Карагинский; ОКН – северная часть Охотского моря; **<5 – каждый объект по отдельности менее 5%.

установлен порог в 5%. Эта величина ограничивает наибольший статистически значимый массив данных. Такое решение было принято с целью исключить влияние редко вылавливаемых гидробионтов на анализ. Оно позволило сосредоточиться на наиболее значимых данных и делать более точные выводы. Использование такого порога помогает гарантировать надежность данных и исключает их искажение случайными ошибками данных ИСР, рассмотренных нами ранее. Ниже будет проведен индивидуальный анализ промысла для каждого региона в отношении гидробионтов, превысивших 5% порог вылова в регионе (табл. 4).

Восточное побережье Камчатки

Этот регион включал 4 лежбища: м. Кекурный, б. Железная, м. Шипунский, м. Козлова. Лежбища сивуча в б. Железная и б. Моржовая располагаются вблизи друг друга на северо-восточной стороне п-ва Шипунского. Их 20-мильные акватории сильно пересекались между собой, что позволяло считать их единой анализируемой зоной (рис. 2).

Анализ распределения точек лова показал, что суда, заходящие в 20-мильные акватории лежбищ, могли ловить рыбу в Авачинском и Кроноцком заливах в течение суток, работая по всей их акватории (рис. 2). Высокая плотность точек лова была отмечена в Авачинском заливе от камня Халактырского до м. Поворотного. Вход в Авачинскую бухту отличался

наибольшей плотностью точек лова. Это может быть связано не только с интенсивным рыболовством, но также с тем, что это место является наиболее часто посещаемой акваторией для судов на пути в Авачинскую бухту и обратно. Промысловые позиции, представленные в ИСР с запасом времени в два часа в обе стороны [9], иногда отмечались там, где промысла не было. Тем не менее, хорошо выраженные плотные скопления позиций лова на свале глубин у м. Шипунского и м. Кекурный, вероятно, отражают более интенсивный промысел в этих локальных участках.

Сумма уловов по квадратам (рис. 3) показала, что наибольшие объемы зарегистрированных уловов как всех гидробионтов, так и кормов сивуча наблюдались в одних и тех же районах – Авачинском заливе на траверзе Авачинской бухты, и значительно меньше в других акваториях. Вероятно, это было связано с близостью Петропавловска-Камчатского (Авачинская бухта), куда уловы доставлялись для дальнейшей переработки. Поэтому часто трассы судов фиксировались на входе в Авачинскую бухту и в ней самой, что приводило к ошибочным выводам о более интенсивном промысле на траверзе у входа в Авачинской бухту.

Основными промысловыми видами у лежбищ Камчатки были минтай, терпуговые, камбаловые, треска, рогатковые. Доля других видов в улове составила менее 5% по отдельности ($N=26$). Помесячные выловы

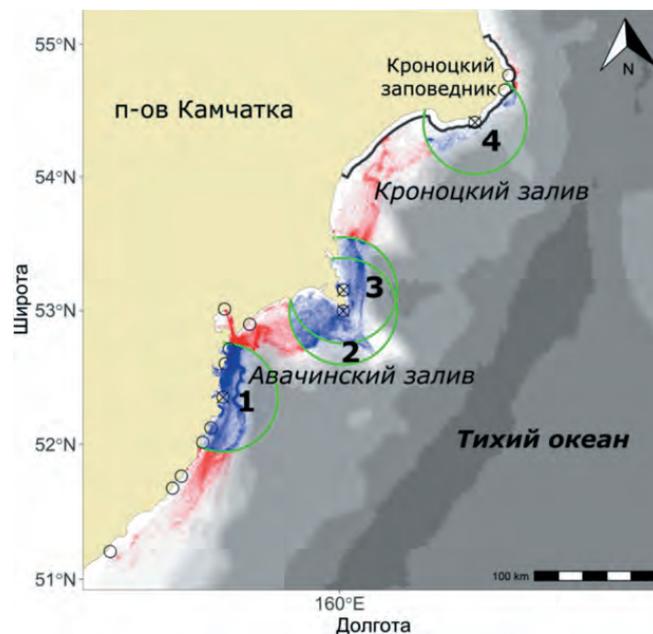


Рис. 2. Акватория восточного побережья Камчатки. Позиции судов, выполнявших промысел в акватории лежбищ (зеленые круги) в течение отчетного дня. Синие точки – рыболовные позиции в пределах 20 миль от лежбищ, красные кружки – за пределами их радиусов. 1 – м. Кекурный; 2 – м. Шипунский; 3 – б. Железная; 4 – м. Козлова

основных промысловых видов варьировались (рис. 4), но минтай всегда занимал первое место в уловах. Только вылов трески в марте (Me = 966 т, $Q_{0,25} = 411$; $Q_{0,75} = 1299$) был близок к улову минтая в тех же водах (Me = 1358 т, $Q_{0,25} = 449$; $Q_{0,75} = 1906$) в том же месяце.

Основной вылов ключевых промысловых видов у лежбищ Камчатки отмечается в холодное время года (сентябрь–май), составляя в медиане на месяц 916 т ($Q_{0,25} = 421$; $Q_{0,75} = 1941$) для минтая и варьирова в интервале от 80 до 254 т (табл. 5) для остальных видов.

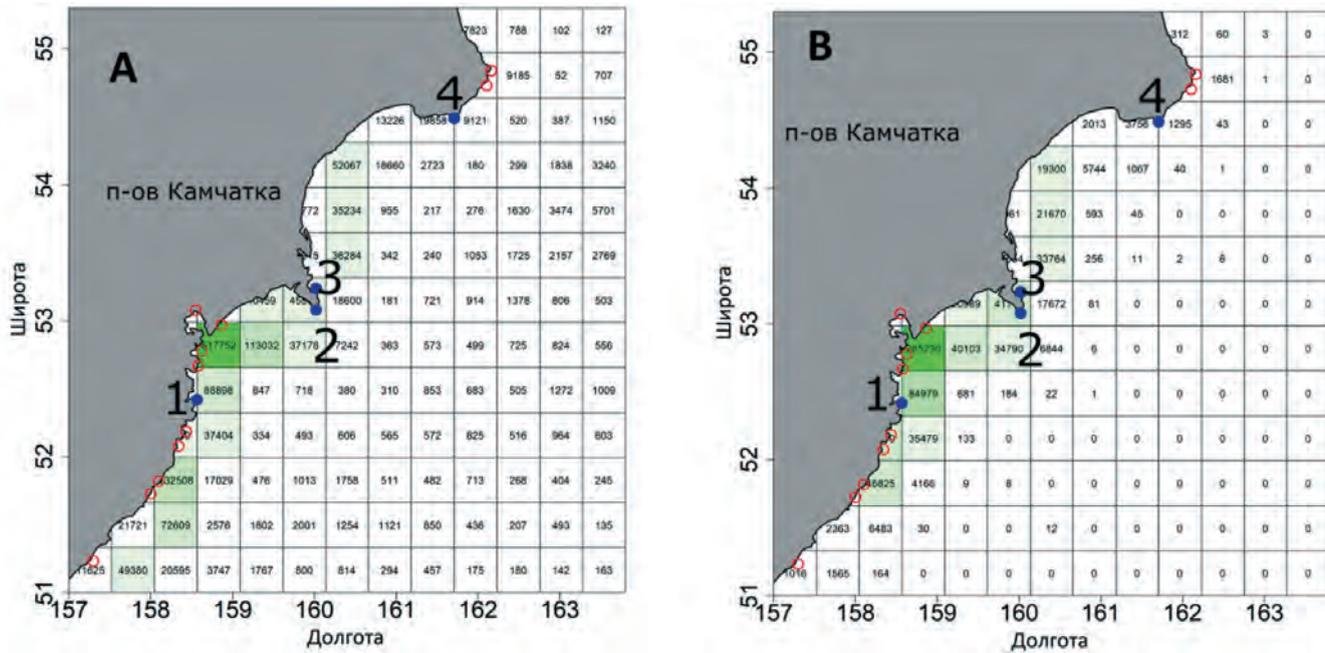


Рис. 3. Объемы вылова (т) в акватории восточного побережья Камчатки за 2000–2010 годы всех гидробионтов (А), кормов сивуча (В). Синие точки – анализируемые лежбища, красные – все лежбища сивуча. Нумерация лежбищ указана в рисунке выше

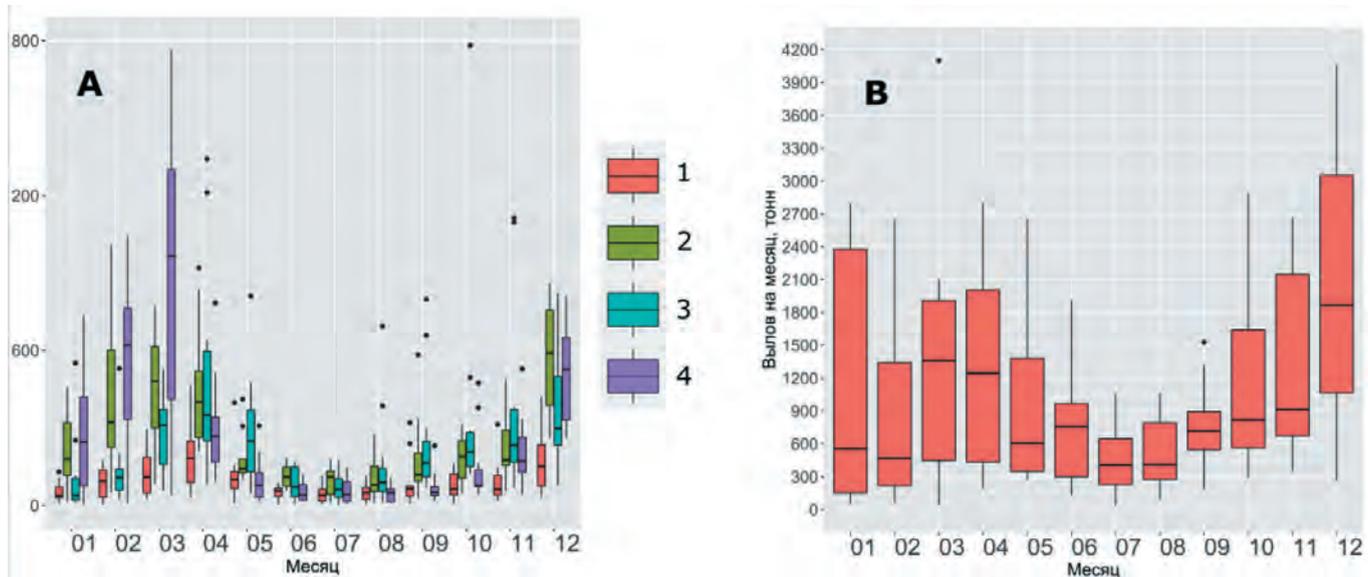


Рис. 4. Помесячные уловы главных промысловых видов у лежбищ восточного побережья Камчатки (составляющих более 5% от вылова). **А:** 1 – рогатковые; 2 – камбаловые; 3 – терпуговые; 4 – треска. **В:** минтай (значительно преобладающий в составе вылова)

Табл. 5
**Помесячные выловы (тонн на месяц)
 гидробионтов в акваториях лежбищ п-ва
 Камчатки
 (южная часть)**

Сезон	Объект	Ме	Q _{0,25}	Q _{0,75}
Лето	Рогатковые	49	27	67
	Камбаловые	91	59	146
	Терпуговые	71	35	143
	Треска	41	17	78
Не лето	Рогатковые	80	37	150
	Камбаловые	254	141	415
	Терпуговые	199	111	392
	Треска	245	77	495

Летние выловы (июнь–август) значительно сокращались, составляя в медиане 443 т (Q_{0,25} = 273; Q_{0,75} = 809) для минтая и варьировали от 41 до 91 т для остальных главных промысловых объектов (табл. 3). Выявленные сезонные закономерности в объемах вылова были статистически значимыми ($p < 0,05$).

Наряду с ярко выраженной сезонностью уловов, глубина ведения промысла у камчатских лежбищ различалась между летним и холодным периодами года ($p < 0,05$). В летние месяцы промысел велся на меньших глубинах (рис. 5), составлявших в медиане 90 м (Q_{0,25} = 120; Q_{0,75} = 50), в то время как осенью, зимой и весной глубины лова отличались (Ме = 150; Q_{0,25} = 220; Q_{0,75} = 115). Максимальные глубины промысла у лежбищ Камчатки отмечались в феврале, составляя в медиане 240 м (Q_{0,25} = 302; Q_{0,75} = 195).

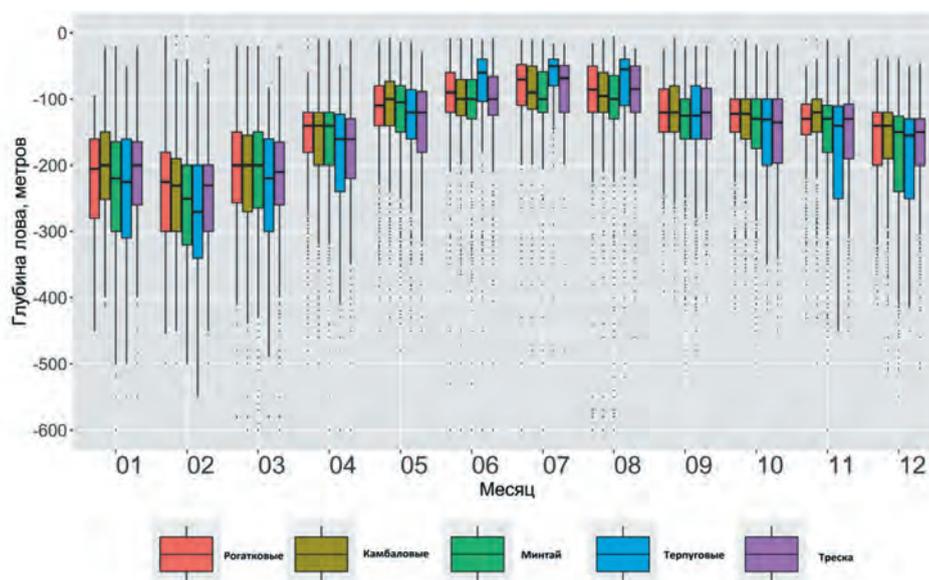


Рис. 5. Глубины лова для донных орудий лова в акваториях у лежбищ Камчатки

Курильские острова

Этот регион включал 11 лежбищ (табл. 1, рис. 6). Их 20-мильные акватории в значительной степени перекрывают друг друга, составляя, по сути, единую акваторию анализа. При визуальном рассмотрении пространственного распределения точек лова можно отметить, что наиболее плотные концентрации были отмечены на траверзе м. Васильева у о-ва Парамушир, с плотными линиями точек рыболовных позиций (рис. 6). Другим районом плотных скоплений рыболовных позиций был пролив Дианы и прилегающая акватория с океанской стороны о-вов Симушир и Кетой.

Суммирование по квадратам объемов вылова кормов сивуча (рис. 7В) показало картину, схожую с распределением промысловых позиций – наибольшие значения были обнаружены только в двух секторах: у м. Васильева (о-в Парамушир) и у пролива Диана (между о-вами Симушир и Кетой). Однако пространственное распределение объемов вылова всех гидробионтов имели отличающуюся картину (рис. 7А), что может свидетельствовать о том, что кормовая база сивуча Курильских о-вов играет незначительную роль в структуре промыслового рыболовства в этом регионе.

Общий состав вылова у лежбищ Курильских о-вов был обширен и включал 36 гидробионтов, которые потенциально могут быть пищей сивуча. Однако только три вида составляли основу промышленного рыболовства в этих водах: терпуговые, минтай и кальмары. Главным объектом промысла были терпуговые, а минтай был лишь вторым по величине улова. В большинстве месяцев наименьшая доля в вылове среди них приходилась на кальмара, но в апреле, сентябре и октябре кальмары преобладали над минтаем в месячных уловах (рис. 8).

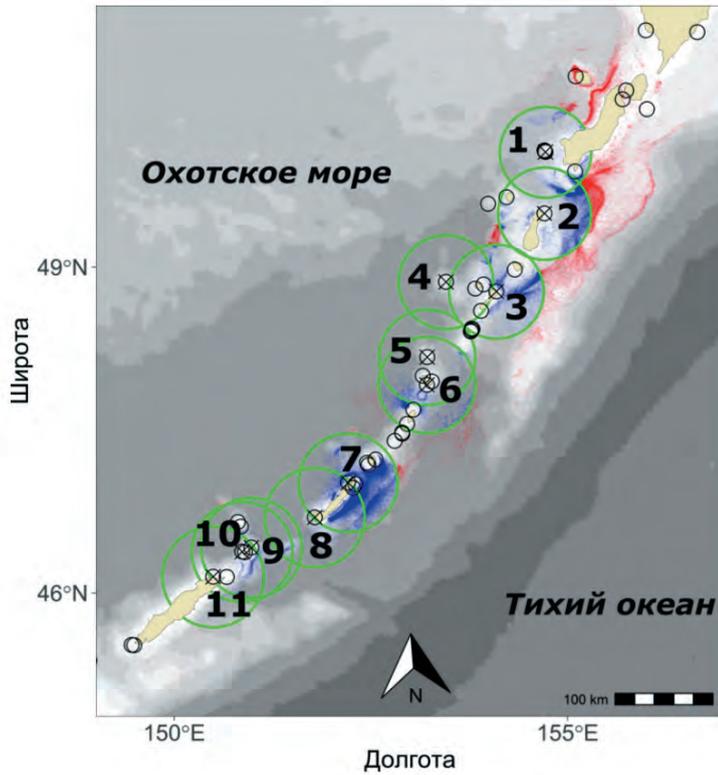


Рис. 6. Акватория Курильских о-вов. Положения судов, выполнявших промысел в акватории лежбищ (зеленые круги) в течение отчетного дня. Синие точки – рыболовные позиции в пределах 20 миль от лежбищ, красные – за пределами их радиусов.
 1 – о. Анциферова;
 2 – о. Онекотан;
 3 – о. Шиашкотан, м. Красный;
 4 – о. Чиринкотан;
 5 – о. Райкоке;
 6 – о. Матуа;
 7 – о. Симушир, м. Ск. Красноватая;
 8 – о. Симушир, м. Аронт;
 9 – о. Чирпой, м. Удушливый;
 10 – о. Брат Чирпов;
 11 – о. Уруп, ск. Чайка

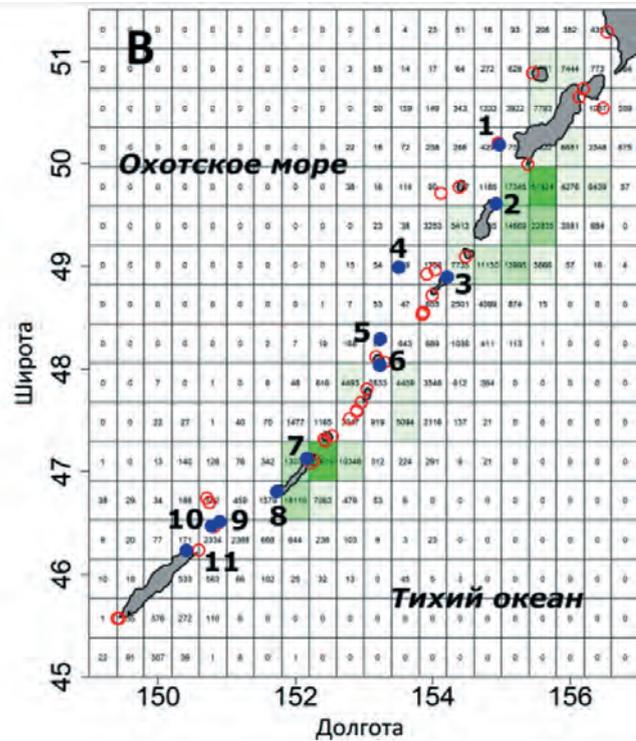
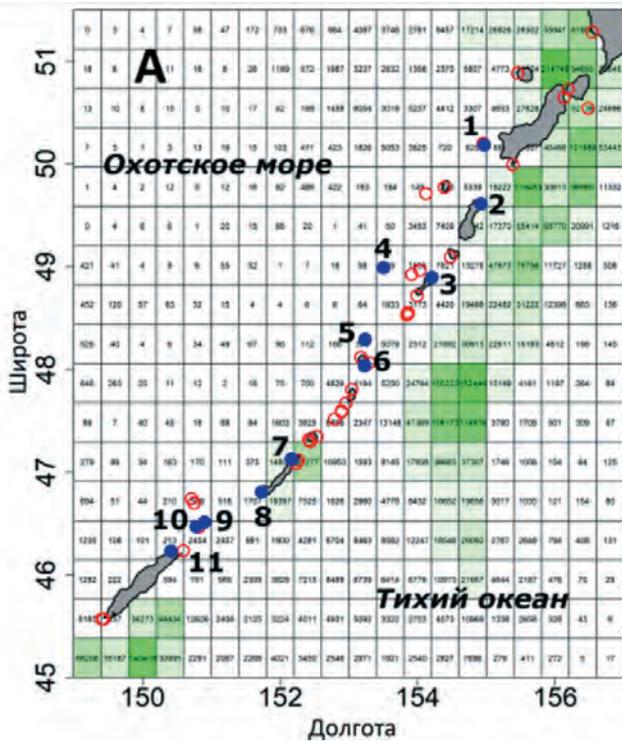


Рис. 7. Объемы вылова (т) в акватории Курильских о-вов за 2000–2010 годы всех гидробионтов (А), кормов сивуча (В). Синие точки – анализируемые лежбища, красные кружки – все лежбища сивуча. Нумерация лежбищ указана на рис. 6

Сезонность в общих месячных уловах всех видов (кальмары, минтай, терпуги) на лежбищах Курильских о-вов была статистически значимой ($p < 0,05$), однако была вызвана тем, что помесечные уловы в первые три месяца года были значительно меньше ($Me = 1626$; $Q_{0,25} = 1198$; $Q_{0,75} = 2640$; $p < 0,05$), чем в остальное время года ($Me = 3533$; $Q_{0,25} = 2384$; $Q_{0,75} = 4967$), см. рис. 5.

Глубины лова кальмаров во все месяцы года в медиане составляли 300 м (рис. 9). Терпуги и минтай добывались летом в сравнительно более мелких водах

(180 и 217 м в медиане соответственно), чем в зимнее время (230 и 280 м в медиане соответственно).

В целом, летом основные промысловые виды ловились на меньшей глубине ($Me = 220$, $Q_{0,25} = 300$; $Q_{0,75} = 150$), чем в остальное время года ($Me = 265$, $Q_{0,25} = 350$; $Q_{0,75} = 175$), $p < 0,05$.

Медиана вылова по всем месяцам для главных промысловых видов в регионе Курильских о-вов составила 250 м ($Q_{0,25} = 338$; $Q_{0,75} = 160$). Наименьшие глубины лова были характерны для терпугов ($Me = 200$ м, $Q_{0,25} = 300$; $Q_{0,75} = 155$), а сравнительно

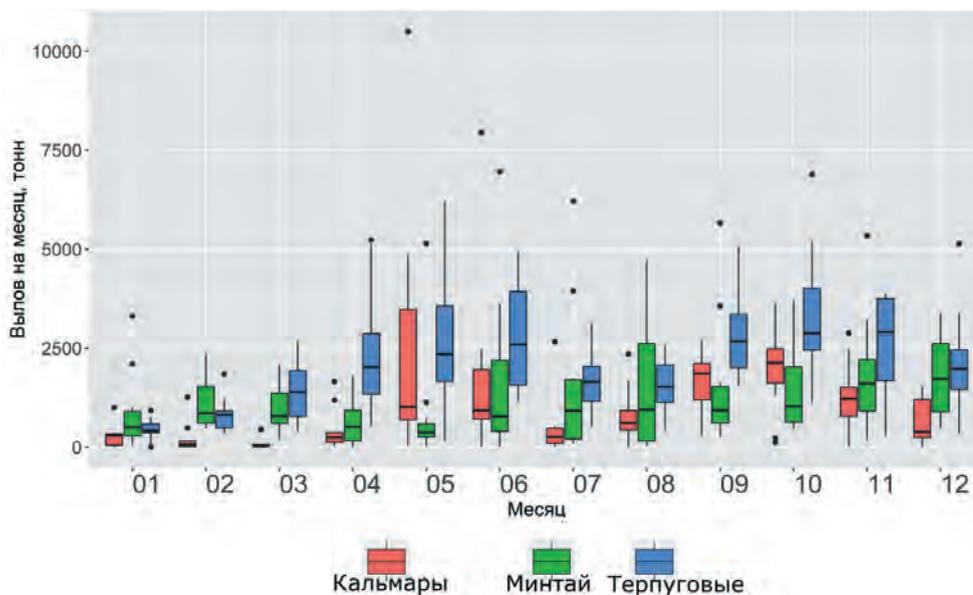


Рис. 8. Помесечные уловы гидробионтов в акватории у лежбищ Курильских о-вов (составляющих более 5% вылова)

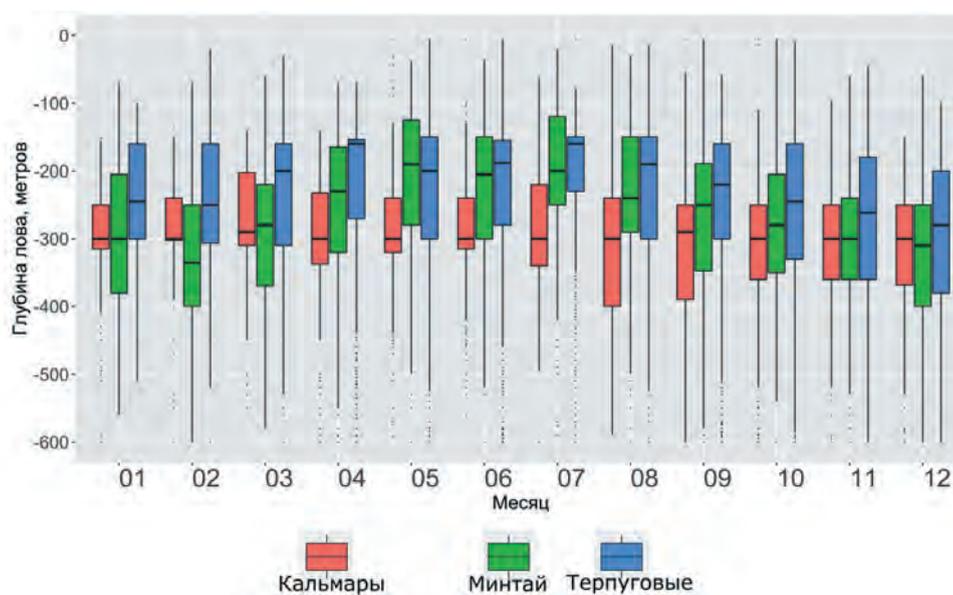


Рис. 9. Глубины лова для донных орудий лова в акваториях лежбищ Курильских о-вов

более глубоководный вылов был характерен для кальмаров ($Me = 300$ м, $Q_{0,25} = 350$; $Q_{0,75} = 250$).

Охотское море

В этом регионе анализировали три лежбища, расположенные в северной части моря, – о. Ионы, Ямские о-ва и о-в Завьялова. Особенностью рассматриваемого региона было установление ледового покрова в зимние месяцы в акваториях лежбищ, что, вероятно, могло повлиять на структуру рыболовства. В отличие от регионов Камчатка и Курильские о-ва, здесь сельдь составляла основную часть промыслового улова, на ее долю приходилось 87% общего объема добычи по биомассе. Минтай лишь незначительно дополнял улов, составляя 5%

объемов вылова. На долю других видов ($N = 15$) приходится очень небольшая часть коммерческого улова. Основными районами промысла были воды у о-ва Завьялова и гораздо менее – у других лежбищ (рис. 10).

По медиане всех параметров промысловая нагрузка у лежбищ сивуча в северной части Охотского моря была значительно меньше, чем во всех других регионах, а уловы на судосутки были выше (табл. 1). Нам не удалось выявить каких-либо пространственных концентраций рыбопромысловых позиций в акваториях рассматриваемых лежбищ. Карты общего улова всех гидробионтов и объектов питания сивуча сильно различались (рис. 11), и кормовые ресурсы сивуча составляли крайне малую часть вылова промыслового рыболовства в Охотском море.

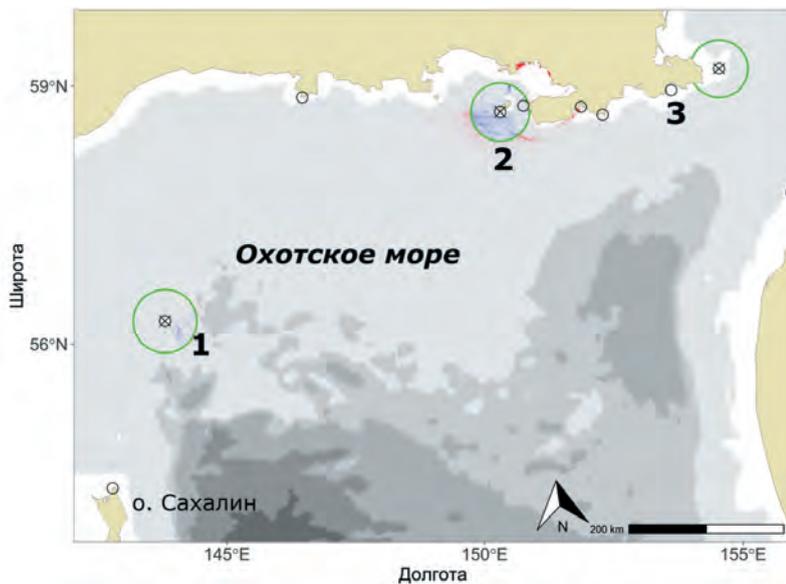


Рис. 10. Северная часть Охотского моря. Позиции судов, выполнявших промысел в акватории лежбищ (зеленые круги) в течение отчетного дня. Синие точки – рыболовные позиции в пределах 20 миль от лежбищ, красные – за пределами их радиусов. 1 – о. Ионы; 2 – о. Завьялова; 3 – Ямские о-ва

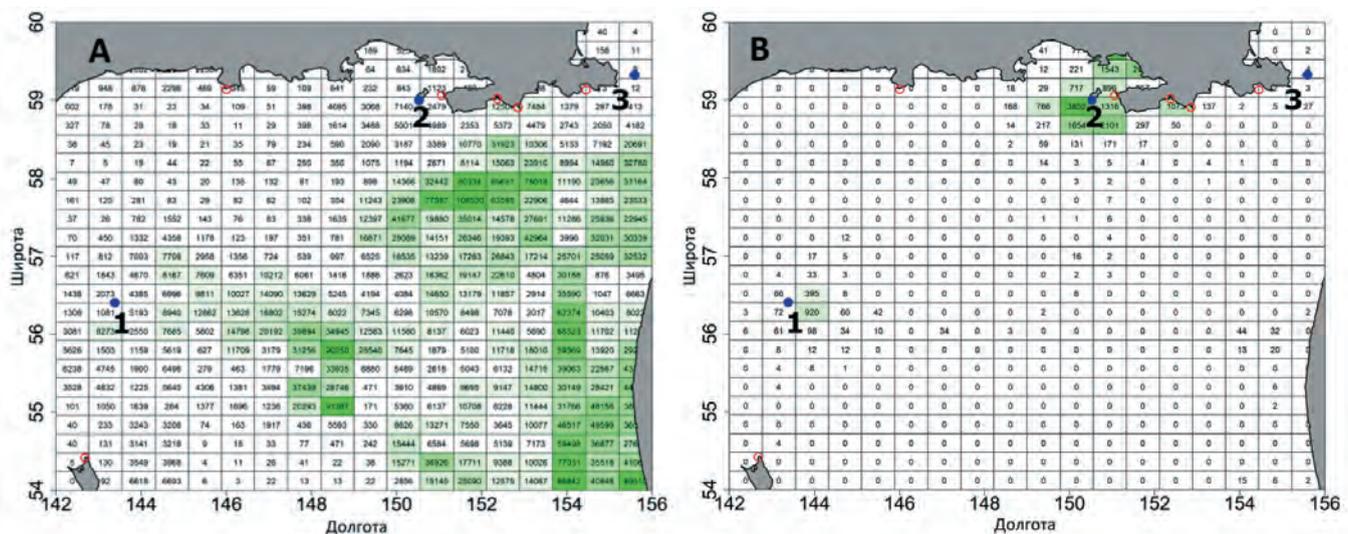


Рис. 11. Объемы вылова (т) в северной части Охотского моря за 2000–2010 годы всех гидробионтов (А), кормов сивуча (В). Синие точки – анализируемые лежбища, красные кружочки – все лежбища сивуча. Нумерация лежбищ указана на рисунке выше. Интенсивность цвета квадрата отражает относительную величину вылова

Помесячные уловы сельди, основного объекта промысла региона, имели ярко выраженную сезонность. Основной вылов приходился на осенние месяцы с максимумом в октябре ($Me = 924$ т; $Q_{0,25} = 156$; $Q_{0,75} = 4215$), особенно высокий, нехарактерный вылов, был отмечен в октябре 2000 года (24479 т), который был исключен из расчета медианных значений (рис. 12).

В остальные времена года, за исключением осенних месяцев (сентябрь, октябрь, ноябрь), месячные выловы сельди были значительно меньше, составляя в медиане 68 т ($Q_{0,25} = 12$; $Q_{0,75} = 145$).

Уловы минтая по месяцам в меньшей степени, чем выловы сельди, зависели от месяца года (рис. 12), но самые низкие значения отмечены в мае и июне (0,9 т; $Q_{0,25} = 0,4$; $Q_{0,75} = 4,2$), а наиболее высокие – в осенние месяцы, как и у сельди, но с пиком на сентябрь

($Me = 27$ т; $Q_{0,025} = 4$; $Q_{0,75} = 137$). Различия, обнаруженные между уловами минтая в осенние месяцы и в остальные месяцы, были статистически значимыми ($p < 0,05$).

Глубина лова имела ярко выраженный сезонный компонент с минимальными глубинами летом и большими глубинами в холодное время года ($p < 0,05$). В то же время разброс глубин был крайне низким летом и имел широкую изменчивость в другие месяцы года в зависимости от объекта лова и месяца (рис. 13).

В целом наиболее глубоководный лов был характерен для минтая в апреле ($Me = 400$ м, $Q_{0,25} = 490$; $Q_{0,75} = 212$), а наиболее мелководный в июле для этого же объекта промысла ($Me = 68$, $Q_{0,25} = 86$; $Q_{0,75} = 65$). Глубины вылова сельди в октябре, в месяце с наибольшим объемом вылова составили в медиане 105 м ($Q_{0,25} = 110$; $Q_{0,75} = 100$).

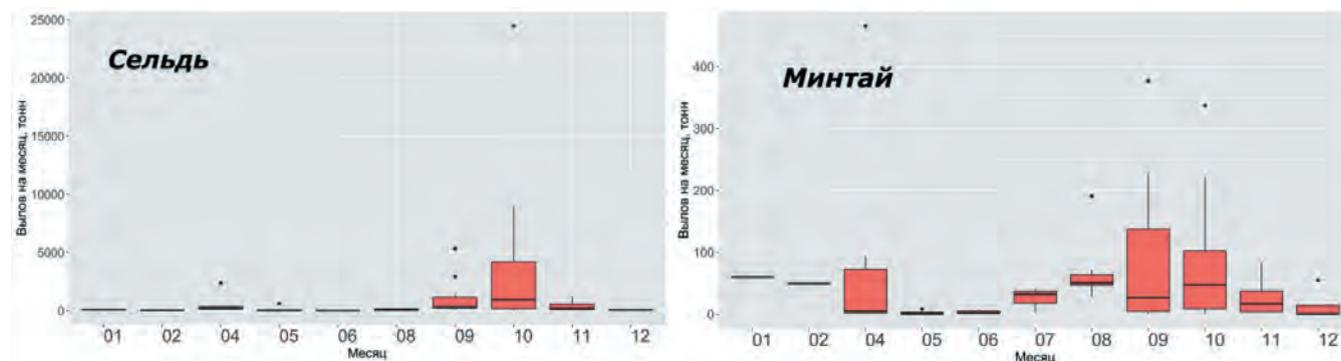


Рис. 12. Помесячные уловы гидробионтов в акваториях у лежбищ северной части Охотского моря (составляющих более 5% вылова)

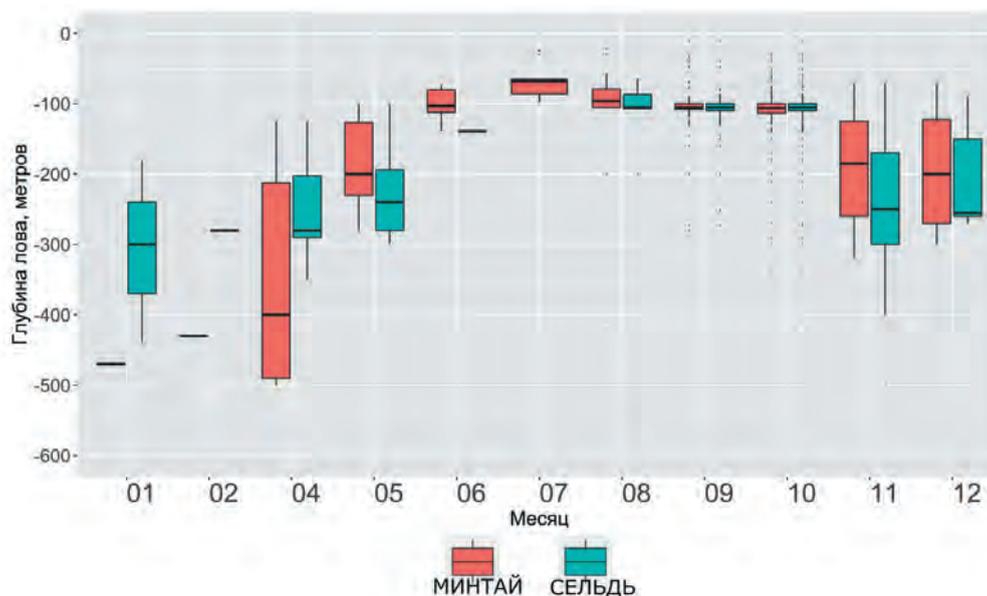


Рис. 13. Глубины лова для донных орудий лова в акваториях лежбищ северной части Охотского моря

О-в Карагинский (м. Крашенинникова)

Как и в северной части Охотского моря, здесь устанавливается сплошной ледяной покров, что вероятно влияет на структуру рыболовства вблизи этого лежбища. В отличие от всех остальных регионов анализа, здесь рассмотрена только одна акватория у м. Крашенинникова, о. Карагинский (рис. 14).

Визуальный анализ пространственного распределения точек лова позволяет отметить их агрегации полосой от м. Северо-Западный на юг вдоль кромки свала глубин (рис. 14). Карты распределения величин уловов всех гидробионтов и объектов питания сивуча также показали, что значительные объемы приходятся на акватории к югу от Северо-Западного мыса и меньше на других акваториях (рис. 15).

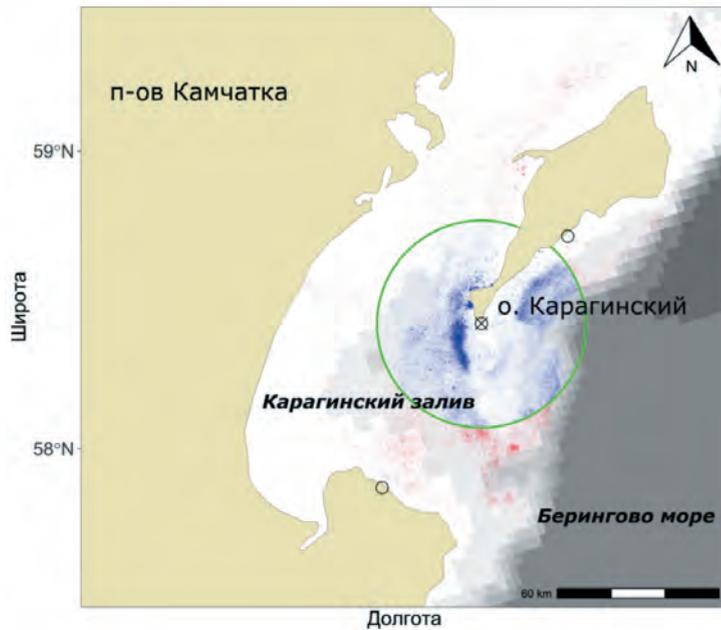


Рис. 14. Акватория о-ва Карагинский. Положения судов, выполнявших промысел в акватории лежбища (зеленые круги) в течение отчетного дня. Синие точки – рыболовные позиции в пределах 20 миль от лежбища, красные – за пределами их радиусов

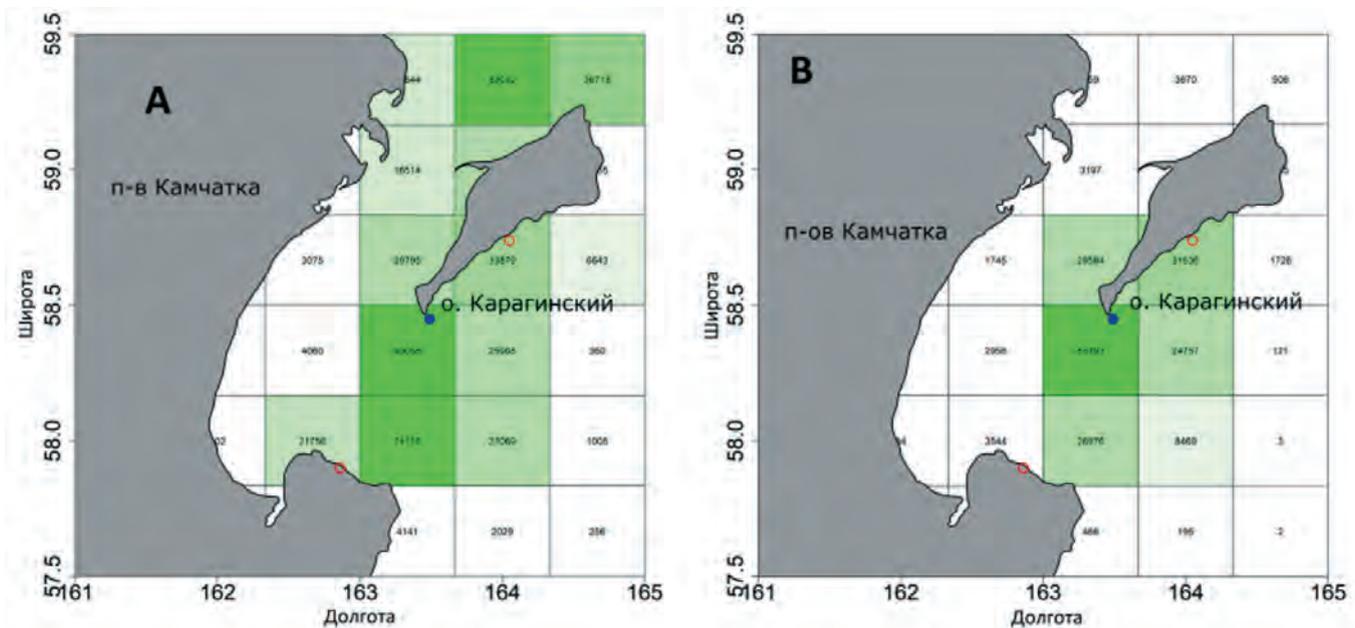


Рис. 15. Объемы вылова (т) в акватории лежбища Крашенинникова, о. Карагинский за 2000–2010 годы всех гидробионтов (А), кормов сивуча (В). Синие точки – анализируемые лежбища, красные кружки – все лежбища сивуча. Интенсивность цвета квадрата отражает относительную величину вылова

Основу вылова в акватории о-ва Карагинский составляли три объекта: треска, минтай, камбаловые. С января по апрель вылов в водах о-ва был незначительным (рис. 16): $Me = 6$; $Q_{0,25} = 4$; $Q_{0,75} = 17$ – вероятно, из-за плотных льдов.

Начиная с мая помесачные уловы возрастают и достигают максимальных значений в июне ($Me = 1870$; $Q_{0,25} = 740$; $Q_{0,75} = 2758$), затем снижаясь к зиме. Таким образом, основная нагрузка промысла приходилась на летние месяцы и значительно менее – на осенние. Анализ глубин промысла показал хорошо выраженную зависимость от месяцев года (рис. 16). Глубины летнего и осеннего выловов (с июня по октябрь) составляли в медиане 60 м ($Q_{0,25} = 110$; $Q_{0,75} = 40$) и отличались ($p < 0,05$) от глубин лова в остальные месяцы года ($Me = 145$ м; $Q_{0,25} = 200$; $Q_{0,75} = 120$).

Региональные особенности коммерческого рыболовства

Структуры коммерческого рыболовства в исследованных регионах были разными (табл. 1, рис. 17). Все регионы статистически значимо отличались друг от друга по числу судосудок на лову в акваториях лежбищ и по объемам вылова на судосудки ($p < 0,05$). Усилия промысла, выраженные в числе судосудок на лову, были наиболее высоки в акваториях побережья Камчатки (рис. 17).

Медиана между акваториями камчатских лежбищ составила 11261 судосудок на лову, что было в 4,7 раза выше, чем у Курильских о-вов, и в 83,0 выше, чем в акваториях лежбищ северной части Охотского моря (табл. 1). Однако несмотря на высокие усилия промысла, вылов на судосудки у лежбищ Камчатки

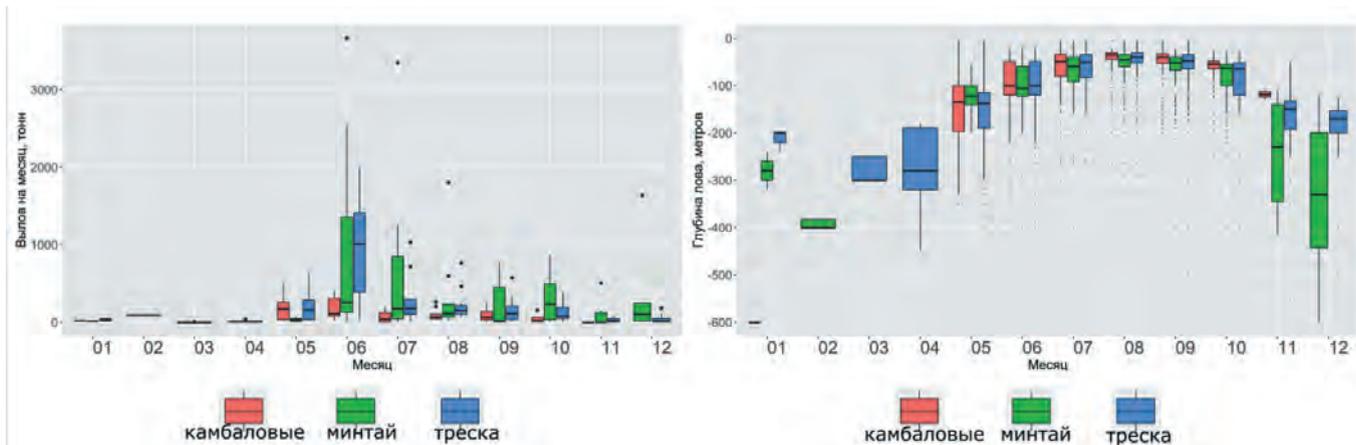


Рис. 16. Помесачные выловы и глубина лова основных промысловых объектов в акватории лежбища Крашенинникова, о. Карагинский

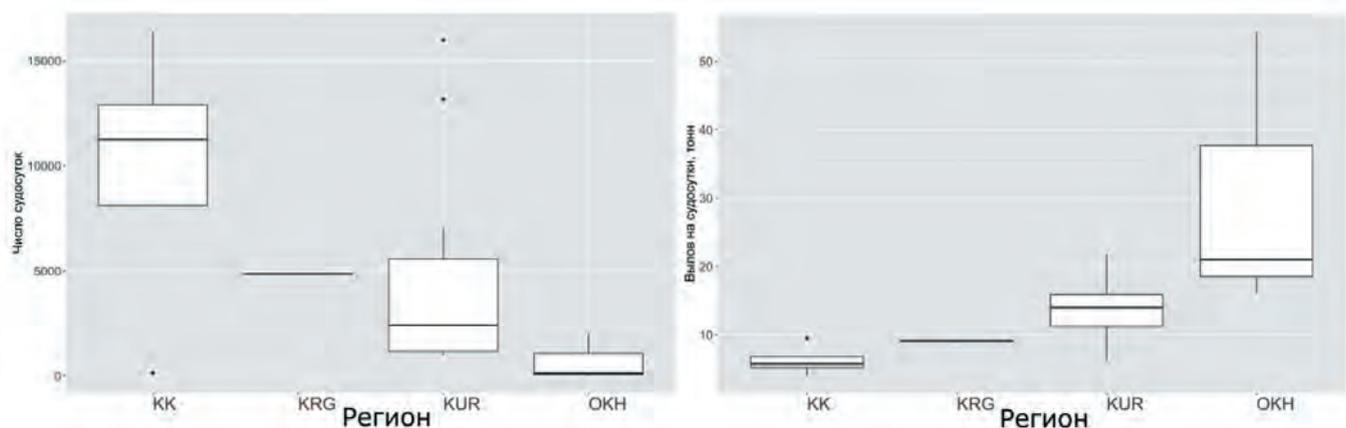


Рис. 17. Количественная оценка интенсивности и эффективности рыболовства в акваториях лежбищ сивуча по регионам

был значительно меньше, чем в других регионах. Медианный вылов по всем акваториям камчатских лежбищ составил 5,6 тонны, что в 2,5 раза меньше, чем в акваториях Курильских о-вов, и в 5,6 раза меньше, чем у лежбищ северной части Охотского моря.

Регион о-ва Карагинский был представлен только одним лежбищем (м. Крашенинникова). Структура промыслового рыболовства в этом месте занимала промежуточное положение между лежбищами акваторий Камчатки и Курильских о-вов.

Летом ключевые промысловые виды ловились в относительно менее глубоких водах, чем в остальное время года ($p < 0,05$), – рис. 18.

Регион Курильских о-вов значимо выделялся ($p < 0,05$) более глубоководным ловом во все сезоны года. Наименьшая глубина промысла была отмечена для северной части Охотского моря для летнего сезона и для о-ва Карагинский в холодное время года.

Запретные и охранные акватории у рассматриваемых лежбищ сивуча

Курильские о-ва

По Правилам рыболовства [https://свту.рф/images/Prikazi_2023/1407_prikaz_285.pdf] большинство запретных районов для добычи гидробионтов находятся у лежбищ Курильских о-вов. Из 11 рассматриваемых акваторий 10 закрыты для промышленного лова (табл. 4). Самая большая акватория примыка-

ет к о-ву Онекотан и составляет 12 морских миль от о-ва. Наименьшие по размерам запретные районы (2 мили) прилегают к лежбищам на о-вах Симушир и Шиашкотан. Только у лежбища на о-ве Чиринкотан отсутствовал запретный район промысла. В целом медианный размер закрытой для промысла зоны на рассматриваемых лежбищах Курильской гряды составил 3 мили ($n = 11$).

Восточное побережье Камчатки

Здесь только одно лежбище из четырех имело охраняемую акваторию – м. Козлова, акватория Кроноцкого заповедника. Однако 3-мильная охранная акватория Кроноцкого заповедника не может обеспечить охрану зверей из-за своих малых размеров и прилегающих районов интенсивного рыболовства. Другие рассматриваемые лежбища региона не имеют акваторий, ограничивающих рыболовство.

Северная часть Охотского моря

Лежбища о-ва Ионы, о-ва Завьялова не имеют охраняемых акваторий и запретных зон. На региональном уровне существуют 500-метровые зоны, закрытые для коммерческого рыболовства, но они не могут рассматриваться как эффективный механизм сохранения популяций сивуча. В Магаданском заповеднике действует 2-мильная охраняемая акватория вблизи Ямских о-вов.

Остров Карагинский, м. Крашенинникова

Охранная акватория или запретные районы у лежбища на м. Крашенинникова отсутствуют.

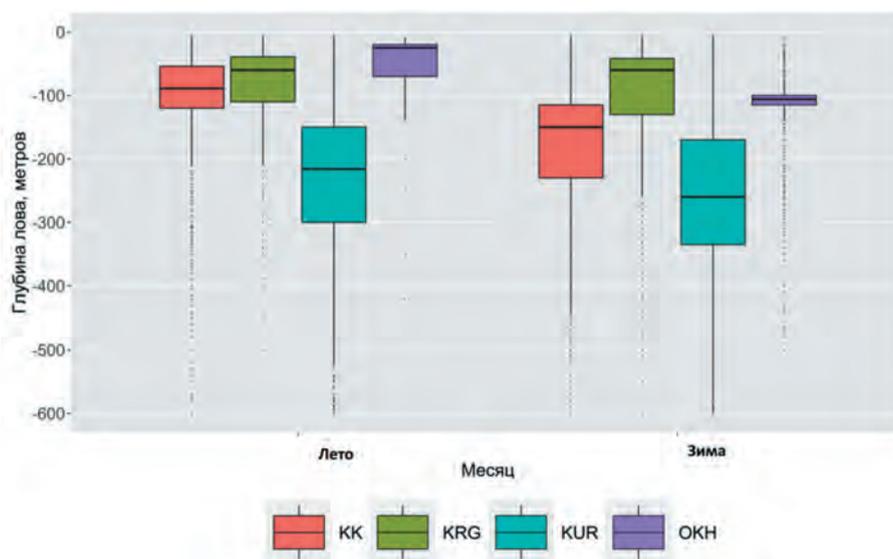


Рис. 18. Глубина ведения промысловых операций донными орудиями лова в акваториях лежбищ сивуча

Охранные и закрытые акватории у рассматриваемых лежбищ сивуча

Регион	Лежбище	Охранная акватория, миль	Тип охранной акватории
КК	м. Кекурный	0	
КК	м. Козлова (R)	3	ООПТ
КК	м. Шипунский	0	ПР
КК	б. Железная	0	
КК, медиана по охранным акваториям		0	
KUR	о. Анциферова (R)	3	ПР
KUR	о. Брат Чирпоев (R)	3	ПР
KUR	о. Чиринкотан	0	
KUR	о. Чирпой, м. Удушливый	3	ПР
KUR	о. Матуа	3	ПР
KUR	о. Онекотан	12	ПР
KUR	о. Райкоке (R)	3	ПР
KUR	о. Шиашкотан, м. Красный	2	ПР
KUR	о. Симушир, м. Аронт	2	ПР
KUR	о. Симушир, м. Ск. Красноватая	2	ПР
KUR	о. Уруп, ск. Чайка	6	ПР
KUR, медиана по охранным акваториям		3	
ОКН	о. Ионы (R)	0	
ОКН	Ямские о-ва (R)	2	ООПТ
ОКН	о. Завялова	0	
ОКН, медиана по охранным акваториям		0	
KRG	о. Карагинский	0	

Примечание. КК – Камчатка; KUR – Курильские о-ва; KRG – о-в Карагинский; ОКН – ; ** ООПТ– Особо охраняемая природная территория; ПР – Правила рыболовства.

Обсуждение

Региональные различия состава вылова и рациона сивуча

Наш анализ показал, что основу вылова в акваториях лежбищ составляют: минтай, терпуговые, треска, камбаловые, рогатковые, кальмары, сельдь. Несмотря на разнообразие состава уловов, эти виды составляют основу коммерческого рыболовства вблизи лежбищ морских львов. В каждом регионе отмечались специфические особенности состава вылова и структуры рыболовства. Установленные ключевые промысловые виды также являются основной добычей сивуча [15]. Региональные различия в составе основных промысловых видов соответствовали региональным различиям рациона сивуча.

Вдоль восточного побережья Камчатки наблюдалось наибольшее разнообразие рациона сивуча [15], что также соответствовало наибольшему разнообразию основных промысловых видов среди всех исследованных нами регионов. У лежбищ Курильских о-вов терпуги были главным пищевым компонентом в рационе сивуча, и они же составляют главную часть вылова этого региона. В северной части Охотского моря основу рациона сивуча составляет сельдь, что также соответствовало основе промышленного рыболовства в этих районах. Ранние исследования рациона сивуча на о-ве Карагинский не позволяют достоверно сопоставить его с данными рыболовства, поэтому для этого региона невозможно сделать выводы о влиянии коммерческого промысла на сивуча.

Таким образом, как сивуч, так и коммерческое рыболовство ориентируются на одни и те же группы гидробионтов, характерные для каждого региона и лежбища.

Менее важными для рыболовства, но имеющими большую долю в рационе морских львов были лососевые *Oncorhynchus* (Suckley, 1861) [15]. Лососевые могут быть недооценены при анализе данных ССД, поскольку значительная часть их вылова приходится на прибрежное рыболовство и, соответственно, не отражено в данных о промысле на судах. Василец и Терентьев [5] подсчитали, что в 2001–2006 годах судовой промысел тихоокеанских лососей, относительно объемов общего изъятия, был незначителен: кижуч *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792) (7,7%), кета *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) (6,5%), чавыча *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum, 1792) (3,2%), горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) (1,4%), за исключением нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792), для которых судовой промысел дрейфтерными сетями достигал до 40,6% от общей биомассы вылова [5]. Следовательно, уловы тихоокеанских лососей, указанные в настоящем анализе, значительно занижены и в действительности могут соответствовать значительному объему вылова.

Не выявлено коммерческое рыболовство таких важных объектов питания сивуча, как тихоокеанская песчанка *Ammodytes hexapterus* (Pallas, 1814) (6,4% общего рациона сивуча ДВП), трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) (2,0%), северный волосозуб *Trichodon trichodon* (Tilesius, 1813) (2,4%), тихоокеанская мойва *Mallotus villosus* (Müller, 1776) (1,3%), липаровые Liparidae (Gill, 1861) (1,5%), тихоокеанская зубастая корюшка *Osmerus mordax* (Mitchill, 1814) (1,3%), которые в сумме составляли 14,9% [15]. Однако, согласно ранним исследованиям, эти виды пищи никогда не были обнаружены в образцах с одним компонентом, поэтому их нельзя отнести к основным кормовым объектам. Следовательно, хотя эти компоненты часто встречаются в рационе сивуча, они потребляются сивучами лишь попутно, во время охоты на основные кормовые объекты (северный одноперый терпуг, минтай, тихоокеанская сельдь и тихоокеанские лососи).

Таким образом, несмотря на широкий ассортимент добычи сивуча, основу его кормовой базы формируют промысловые виды, в то время как другие гидробионты лишь дополняют рацион вида и не служат основой пропитания. Поэтому между сивучом и коммерческим рыболовством могут существовать конкурентные отношения за использование одних и тех же ключевых видов гидробионтов на локальных участках акватории устойчивого промысла вблизи лежбищ.

Региональная специфичность коммерческого рыболовства

Выявленные региональные особенности в интенсивности рыболовства указывают на относительно более высокое давление рыболовства на акватории лежбищ сивуча по восточному побережью Камчатки, чем во всех других рассмотренных регионах. Максимальная промысловая нагрузка была выявлена в Авачинском заливе. Ранние публикации также отмечали в Авачинском заливе самый высокий промысловый пресс среди всех тихоокеанских заливов восточного побережья Камчатки [5, 6], и было предложено ввести ограничения на промысел с использованием снюрревода в этом районе [6]. Таким образом, описанные в других работах районы интенсивной промысловой нагрузки [5, 6] совпадают с выявленными в данном исследовании акваториями возможной конкуренции. Кроме того, в ранних исследованиях указан еще один локальный район с высокой промысловой нагрузкой тралами вблизи м. Камчатский, Камчатский залив [5]. Данная акватория отсутствовала в настоящей работе, так как на м. Камчатский сивучи после катастрофического сокращения численности перестали размножаться, и данное репродуктивное лежбище утратило совсем [20].

Сезонность глубин вылова рыболовства и глубин погружения сивуча

Исследования кормового поведения сивуча с помощью телеметрических устройств показали, что зимой звери ныряют глубже и уходят дальше в поисках пищи, чем летом [27, 32, 33]. В настоящем исследовании отмечено, что для большинства ключевых промысловых видов характерен лов на мелководье летом и более глубоководный промысел в остальные времена года. Полностью отсутствовали сезонные вариации глубин лова кальмаров в акваториях лежбищ Курильских о-вов.

Таким образом, в холодное время года большая часть корма сивучей становится менее доступной, что вынуждает зверей нырять глубже и уходить от лежбища дальше в поисках пищи, что также подтверждается смещением глубин коммерческого лова на более глубокие участки, как было отмечено в настоящем исследовании.

Влияние коммерческого рыболовства на сивуча

Исследования показывают, что популяции сивучей на восточном побережье Камчатки, в отличие от Курильских о-вов и Охотского моря, находятся в состоянии стагнации после катастрофического сокращения [3, 17, 19, 20 и др.]. Численность сивучей растет или стабильна в Охотском море, стабильна на

большинстве лежбищ Курильских о-вов, а наиболее негативные тенденции в численности животных отмечены у восточного побережья Камчатки [3, 17, 19, 20 и др.]. В этом районе последнее репродуктивное лежище вида сохранилось у м. Козлова, а два других – у б. Железная и м. Камчатский – больше не репродуктивны, хотя иногда там можно встретить животных. На последнем сохранившемся лежище появляется чуть более 100 щенков ежегодно при общей численности зверей старше одного года порядка 300 особей [12, 19]. Популяция сивучей у восточного побережья Камчатки находится в состоянии упадка с 2000-х годов по настоящее время. Вместе с тем наш анализ показал низкую промысловую нагрузку промышленного рыболовства у лежбищ в северной части Охотского моря, более высокую у Курильских о-вов и максимальную у лежбищ восточного побережья Камчатки. Таким образом, в регионе с высокой нагрузкой со стороны коммерческого рыболовства, выявленном в ходе анализа, наблюдаются наиболее негативные тенденции численности при сравнении с районами с меньшим рыболовным давлением на пищевые ресурсы сивуча (Курильские о-ва). Регион с минимальной промысловой нагрузкой характеризуется положительной тенденцией численности сивуча (Охотское море). Можно предположить, что промышленное рыболовство влияет на состояние популяции сивуча на восточном побережье Камчатки.

Ранее отмечалось [45], что сивуч и промышленное рыболовство используют схожие размерные составы минтая и терпуга, что может говорить о возможной конкуренции между рыбным промыслом и сивучом за этот ресурс. В районах с интенсивным траловым промыслом происходит разрушение среды обитания рыб, проявляющих территориальность в местах нереста [23]. Крупные косяки рыб, важные для питания сивуча, разбиваются, рассеиваются или полностью уничтожаются траловым промыслом, что затрудняет добычу пищи для этого вида [22, 23, 26, 30, 31, 42, 44].

Наши данные показали, что зимой пища для морских львов становится менее доступной, но в то же время объем коммерческого улова, наоборот, увеличивается. В ряде исследований показано, что в зимний период энергетические затраты зверей сильно возрастают [37, 43]. Глубоководные кормопоисковые погружения зимой вынуждают животных идти на риск, так как поиск глубоководной добычи требует значительно больше энергии, чем кормление на прибрежном мелководье. Подобная стратегия глубоководного кормодобывания может оправдывать себя только в том случае, если объекты питания предсказуемы и достаточно обильны для компенсации высоких энергетических затрат на их добывание. В случае

снижения упитанности животных из-за недостатка пищи или по другим причинам затраты энергии при глубоководных погружениях значительно возрастают [21]. Это делает глубоководную кормовую стратегию еще более зависимой от устойчивых скоплений добычи.

Таким образом, в зимний период конкуренция между сивучом и коммерческим рыболовством за использование одних и тех же групп гидробионтов может значительно обостряться. Результатом такой конкуренции может являться нехватка достаточного количества пищи для беременных самок, вынужденных также кормить молоком зависимого детеныша [40]. В этом случае самка делает выбор в пользу вложения энергии от своей добычи в уже подросшего детеныша и прерывает беременность, что подтверждается нерегулярными родами у самок и пролонгированной связью с потомством в регионе восточного побережья Камчатки [1, 17].

Однако прямых и статистически проверяемых доказательств влияния коммерческого рыболовства на выживаемость и рождаемость сивуча пока нет. Это связано с полным отсутствием исследований экологии сивуча в зимний период года у побережья Азии. Настоящая работа позволяет выделить области, характеризующиеся повышенным давлением коммерческого рыболовства на популяции сивуча и требующие дополнительных исследований и усилий по регулированию рыболовного промысла.

Охранные акватории и закрытые районы для промысла у лежбищ сивуча

Охраняемые акватории играют важную роль в сохранении морской жизни. Однако их размеры ограничены, что оставляет многие лежища не защищенными и уязвимыми перед промышленным рыболовством и другими антропогенными угрозами. В данной работе было показано, что на восточном побережье Камчатки, где наиболее интенсивно ведется промысел и где численность сивуча сокращается, закрытые для промысла участки рядом с лежищами практически отсутствуют. По данным наших исследований, наиболее часто закрытые акватории расположены у лежбищ сивуча на Курильской гряде (10 из 11 рассмотренных акваторий). Однако их размеры и режимы охраны нельзя считать эффективными для сохранения популяций сивуча. В северной части Охотского моря только Ямские о-ва имеют двухмильную закрытую акваторию, а у остальных лежбищ она отсутствует.

В связи с этим необходимо расширить охват охранных акваторий, особенно в регионах, где коммерческое рыболовство особенно интенсивно и где численность сивуча находится в депрессивном состоянии. Для этого

следует провести дополнительные исследования, направленные на определение областей, требующих дополнительной охраны, и на выработку стратегий расширения охранных акваторий. Главным принципом управления охраняемыми акваториями является сбалансированность между защитой морских млекопитающих и удовлетворением потребностей человека в использовании морских ресурсов. При расширении охранных акваторий необходимо учитывать потребности местного населения, а также экономические и социальные последствия.

Несмотря на то что большинство акваторий лежбищ, рассмотренные нами в данном исследовании, закрыты для промысла (12 из 19), Правила рыболовства не могут рассматриваться как единственная эффективная мера по сохранению популяции этих животных. Охранные акватории в составе ООПТ являются одним из наиболее эффективных инструментов сохранения биоразнообразия. В таких акваториях обеспечивается высокий уровень охраны, благодаря которому сивучи могут спокойно размножаться и нагуливаться. Кроме того, использование охранных акваторий не только способствует сохранению популяций сивуча, но и обеспечивает защиту других видов животных, которые находятся в охранной акватории.

Выводы

Основу коммерческого рыболовства вблизи лежбищ сивуча ДВР составляют гидробионты, играющие ключевую роль в его питании: минтай, терпуговые, сельдь, треска, камбаловые, рогатковые.

Наибольший пресс коммерческого рыболовства отмечен вблизи лежбищ на восточном побережье Камчатки. Значительно меньше он у лежбищ Курильских

о-вов, а в Охотском море нагрузка коммерческого рыболовства на акватории лежбищ сивуча крайне мала.

В регионе с высокой промысловой нагрузкой (п-в Камчатка) наблюдается негативная динамика численности сивуча, в регионе с очень низким уровнем коммерческого рыболовства в акваториях лежбищ численность сивучей растет. В регионе с умеренным рыболовным давлением (Курильские о-ва) наблюдались разнонаправленные демографические тенденции.

В зимнее время доступность пищи для сивуча в акваториях лежбищ снижается, а объемы вылова увеличиваются, что может обострять конкуренцию зверей с коммерческим рыболовством.

Заключение

Конкуренция между сивучом и коммерческим рыболовством может существовать, поскольку сивуч и коммерческий промысел используют одни и те же виды гидробионтов, а региональные различия в структуре улова соответствуют различиям в рационе вида. Региональные тенденции численности сивуча отрицательны в районах с высокой промысловой нагрузкой и положительны там, где интенсивность промысла низка. Для разработки мер сохранения сивуча требуются дополнительные исследования экологии зимнего питания вида у побережья Камчатки – района, испытывающего наибольшее давление коммерческого рыболовства на пищевые ресурсы зверей, и района с наиболее неблагоприятной демографической ситуацией популяции вида.

Работа выполнена при поддержке Центра Коллективного Пользования Приморского Океанариума НЦМБ ДВО РАН.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Алтухов АВ, Бурканов ВН, Андрус Р, Желет Т. Связь выживания и рождаемости у сивуча с изменениями в интенсивности прибрежного рыболовства. В кн.: Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский; 2017. С. 219-24.
2. Бадаев ОЗ. Прилов и выбросы на тралово-снюрреводных промыслах в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне. Вопросы рыболовства. 2020;21(1):53-66.
3. Бурканов ВН, Алтухов АВ, Андрус Р и соавт. Результаты учетов сивуча (*Eumetopias jubatus*) в водах России в 2006–2007 гг. В кн.: Морские млекопитающие Голарктики. Сборник научных трудов V Международной конференции. Одесса; 2008. С. 116-23.
4. Бурканов ВН, Алтухов АВ, Белонович ОА, Усатов ИА, Фомин СВ. Берингово море и акватория Восточной Камчатки как важный район рыболовства и место обитания сивуча: проблема сосуществования. В кн.: Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский; 2017. С. 225-30.
5. Василец ПМ, Терентьев ДА. Характеристика промысла водных биологических ресурсов в Карагинской подзоне в 2001–2007 гг.

- Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2009;13:59-73.
6. Коростелев СГ, Василец ПМ. Изменения в составе донных ихтиоценов на шельфе Авачинского, Кроноцкого и Камчатского заливов под влиянием промыслового пресса. Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра), 2004;137:253-61.
 7. Токранов АМ, ред. Красная книга Камчатского края. Т. 1: Животные. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс; 2018.
 8. Данилов-Данильян ВИ, ред. Красная книга Российской Федерации (животные). М.: Астрель; 2001.
 9. Проценко ИГ, ред. Мониторинг рыболовства. Инструкции и рекомендации экипажам промысловых судов и судовладельцам. Петропавловск-Камчатский: ФГУП «Камчатский центр связи и мониторинга»; 2005.
 10. Терентьев ДА, Василец ПМ. Структура уловов на рыбных промыслах и предложения по организации многовидового рыболовства в северо-западной части Берингова моря. Известия ТИНРО. 2005;140:18-36.
 11. Терентьев ДА, Винников АВ. Анализ материалов по видовому и количественному составу уловов донными сетями в северо-западной части Берингова и восточной части Охотского морей. Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2004;138:299-310.
 12. Усатов ИА, Алтухов АВ, Бурканов ВН. Сезонная динамика численности сивуча на репродуктивном лежбище у м. Козлова, Камчатка. В кн.: Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский: КФ ТИГ ДВО РАН; 2014. С. 372-6.
 13. Усатов ИА, Бурканов ВН. Летнее питание сивуча в водах Дальнего Востока России в 2004–2008 годах. Биосфера. 2021;14(1):8-28.
 14. Усатов ИА, Бурканов ВН, Токранов АМ. Экология питания сивуча с репродуктивного лежбища у мыса Козлова (Восточная Камчатка). Биосфера. 2022;14(3):1-10.
 15. Усатов ИА, Токранов АМ, Труханова ИС, Бурканов ВН. Питание сивуча у восточного побережья Камчатки. Труды ВНИРО. 2021;185: 57-67.
 - sea-lion with changes in the intensity of coastal fisheries]. In: Sokhraneniye Bioraznoobraziya Kamchatki i Prilegayuschikh Morey. [Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Adjacent Seas], Petropavlovsk-Kamchatsky; 2017. P. 219-24. (In Russ.)
 2. Badaev OZ. 2020. [Bycatch and discards in trawl and snurf fisheries in the Far Eastern Fishery Basin]. Voprosy Rybovodstva. 21(1):53-66. (In Russ.)
 3. Burkanov VN, Altukhov AV, Andrius R et al. [Results of Steller sea lion (*Eumetopias jubatus*) surveys in Russian waters in 2006-2007]. In: Morskkiye Mlekopitayuschiye Golarktiki. Odessa; 2008; P. 116-23. (In Russ.)
 4. Burkanov VN, Altukhov AV, Belonovich OA, Usatov IA, Fomin SAV. [Bering Sea and East Kamchatka as an important fishing area and habitat of Steller sea lion: the problem of coexistence]. In: Sokhraneniye Bioraznoobraziya Kamchatki i Prilegayuschikh Morey. [Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Adjacent Seas], Petropavlovsk-Kamchatsky; 2017. P. 225-30. (In Russ.)
 5. Vasilets PM, Terentyev DA. [Characteristics of fishing of aquatic biological resources in the Karaginskaya subzone in 2001–2007]. Issledovaniya Vodnykh Biologicheskikh Resursov Kamchatki i Severo-Zapadnoy Chasti Tikhogo Okeana. 2009;13:59-73. (In Russ.)
 6. Korostelev SG, Vasilets PM. Changes in the composition of bottom ichthyocenes on the shelf of Avacha, Kronotsky and Kamchatka Bays under the influence of fishing pressure. Izvestiya TINRO. 2004;137:253-61. (In Russ.)
 7. Tokranov AM, Ed. Krasnaya Kniga Kamchatskogo Kraya Tom 1 Zhivotnye. [Red Book of Kamchatskiy Kray. Vol. 1: Animals]. Petropavlovsk Kamchatskiy: Kamchatpress; 2018. (In Russ.)
 8. Danilov-Danilyan VI, Ed. Krachaya Kniga Rossiyskoy Federatsii (Zhivotnye). [Red Data Book of the Russian Federation (Animals)]. Moscow: Astrel; 2001. (In Russ.)
 9. Protsenko IG. Monitoring Rybolovstva. [Fisheries Monitoring. Instructions and Recommendations for Crews of Fishing Vessels and Ship Owners]. Petropavlovsk Kamchatskiy: FGUP Kamchatskiy Tsentr Sviazi i Monitoringa; 2005. (In Russ.)
 10. Terentyev DA, Vasilets PM. [Structure of catches in fisheries and proposals for the organization of multispecies fishery in the north-western part of the Bering Sea]. Izvestiya TINRO. 2005;140:18-36. (In Russ.)
 11. Terentyev DA, Vinnikov AV. [Analysis of materials on species and quantitative composition of catches by bottom nets in the northwestern part of the Bering Sea and eastern part of the Sea of

Общий список литературы/References

1. Altukhov AV, Burkanov VN, Andrius R, Zhelet T. [Relationship of survival and fertility in Steller

- Okhotsk]. Izvestiya TINRO. 2004;138:299-310. (In Russ.)
12. Usatov IA, Altukhov AV, Burkanov VN. [Seasonal dynamics of Steller sea lion abundance at Kozlov Cape Rookery, Kamchatka]. In: Sokhraneniye Bioraznoobrazniya Kamchatki i Prilegayuschikh Morey. [Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Adjacent Seas]. Petropavlovsk-Kamchatsky; KB PGI FEB RAS; 2014; P. 372-76. (In Russ.)
 13. Usatov IA, Burkanov VN. [Summer feeding of Steller sea lion in the waters of the Russian Far East in 2004-2008]. Biosfera. 2021;14(1):8-28. (In Russ.)
 14. Usatov IA, Burkanov VN, Tokranov AM. [Ecology of Steller sea lion feeding from the reproductive rookery near Cape Kozlov (Eastern Kamchatka)]. Biosfera. 2022;14(3):1-10. (In Russ.)
 15. Usatov IA, Tokranov AM, Trukhanova IS, Burkanov VN. [Steller sea lion diet in the Eastern Kamchatka]. Trudy VNIRO. 2021;185:57-67. (In Russ.)
 16. Allen JA. History of North American Pinnipeds. A Monograph of the Walruses, Sea Lions, Sea Bears and Sseals of North America. Publ. 12, US Geol Geogr Surv Terr, 1880.
 17. Altukhov AV, Andrews RD, Calkins DG, Gelatt TS, Gurarie ED et al. Age-specific survival rates of Steller sea lions at rookeries with divergent population trends in the Russian Far East. PLOS ONE. 2015;10(5):e0127292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127292>.
 18. Alverson D. A review of commercial fisheries and the Steller sea lion (*Eumetopias jubatus*): the conflict arena. Rev Aquac Sci. 1992;6:203-56.
 19. Burkanov VN, Loughlin TR. Distribution and abundance of Steller sea lions on the Asian Coast, 1720's – 2005. Marine Fisheries Rev. 2005; 67(2):1-62.
 20. Burkanov VN, Tretyakov AV, Usatov IA, Mamaev EV, Fomin SV et al. Count of steller sea lion (*Eumetopias jubatus* Shreber 1776) on terrestrial sites in the Russian Far East, 2015-2018. In: Abstracts of the XI International Conference «Marine mammals of the Holarctic», online 01-05 March. 2021. P. 129-30.
 21. Cole MR, Colin W, Elizabeth AM, Daniel PC, Paul JP, Birgitte IM. Deep dives and high tissue density increase mean dive costs in California sea lions (*Zalophus californianus*). J Exp Biol. 2023; jeb-246059. <https://doi.org/10.1242/jeb.246059>.
 22. Collie JS, Escanero GA, Valentine PC. Effects of bottom fishing on the benthic megafauna of Georges Bank. Marine Ecol Progr Ser. 1997;155:159-72.
 23. Cooper D, McDermott S. Seasonal, small-scale distribution of Atka mackerel in the Aleutian Islands, Alaska, with respect to reproduction. Marine Coastal Fisheries Manag. 2011;3:10-20.
 24. Cornick L, Inglis S, Willis K, Horning M. Effects of increased swimming costs on foraging behavior and efficiency of captive Steller sea lions: evidence for behavioral plasticity in the recovery phase of dives. J Exp Marine Biol Ecol. 2006;333:306-14.
 25. Kruse GH et al. A review of proposed fishery management actions and the decline of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Alaska: a report by the Alaska Steller sea lion restoration team. Regional information report 5J01-04. Alaska Department of Fish and Game. 2001.
 26. Lauth RR, McEntire SW, Zenger HH. Geographic distribution, depth range, and description of Atka Mackerel *Pleurogrammus monopterygius* nesting habitat in Alaska. Alaska Fishery Res Bull. 2007;12(2):165-86.
 27. Loughlin TR, Sterling J, Merrick RL, Sease JL, York AE. Diving behavior of Immature Steller Sea Lions. Fishery Bull. 2003;101:566-82.
 28. NMFS (National Marine Fisheries Service). Recovery Plan for the Steller Sea Lion, Eastern and Western Distinct Population Segments of Steller Sea Lion (*Eumetopias jubatus*). Silver Spring, MD: National Oceanic and Atmospheric Administration; 2008.
 29. NMFS (National Marine Fisheries Service). Stock Assessment and Fishery Evaluation Report for the Groundfish Fisheries of the Gulf of Alaska and Bering Sea/Aleutian Islands Area: Economic Status of the Groundfish Fisheries off Alaska. Seattle, Washington: AFSC; 2009. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/18810>.
 30. Pauly D. The Sea around Us project: Documenting and communicating global fisheries impacts on marine ecosystems. AMBIO J Human Environ. 2007;36(4):290-5.
 31. Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, Froese R, Torres F. Fishing down marine food webs. Science. 1998;279:860-3.
 32. Pitcher KW, Rehberg MJ, Pendleton GW, Raum-Suryan KL, Gelatt TS, Swain UG, Sigler MF. Ontogeny of dive performance in pup and juvenile Steller sea lions in Alaska. Can J Zool. 2005;83:1214-31.
 33. Rehberg MJ, Andrews RD, Swain UG, Calkins DG. Foraging behavior of adult female Steller sea lions during the breeding season in Southeast Alaska. Marine Mammal Sci. 2009;25:588-604.
 34. Rosen DAS, Trites AW. Pollock and the decline of Steller sea lions: testing the junk food hypothesis. Can J Zool. 2000;78:1243-50.
 35. Sinclair EH, Johnson DS, Zeppelin TK, Gelatt TS. Decadal Variation in the Diet of West-

- ern Stock Steller Sea Lions (*Eumetopias jubatus*). NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-248; 2013.
36. Sinclair E, Zeppelin T. Seasonal and spatial differences in diet in the western stock of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). *J Mammal*. 2002;83:973-90.
 37. Svärd C, Fahlman A, Rosen DAS. et al. Fasting affects the surface and diving metabolic rates of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). *Aquat Biol*. 2009;8:71-82.
 38. Trites AW. Behavioral insights into the decline and natural history of Steller sea lions. In: Campagna C, Harcourt R. (eds). *Ethology and Behavioral Ecology of Marine Mammals. Ethology and Behavioral Ecology of Otariids and the Odobenid*. Springer; 2021. P. 489-519.
 39. Trites AW, Donnelly CP. The decline of Steller sea lions in Alaska: a review of the nutritional stress hypothesis. *Mammal Rev*. 2003;33:3-28.
 40. Trites AW, Porter BT. Attendance patterns of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and their young during winter. *J Zool*. 2002;256:547-56.
 41. Waite JN, Burkanov VN. Steller sea lion feeding habits in the Russian Far East, 2000-2003. In: Trites AW, Atkinson SK, DeMaster DP, Fritz LW, Gelatt TS, Rea LD, Wynne KM, eds. *Sea Lions of the World*. Anchorage: Alaska Sea Grant College Program; 2006. P. 22-34.
 42. Watling L, Norse EA. Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: a comparison to forest clear cutting. *Conservat Biol*. 2008;12(6):1180-97.
 43. Winship AJ. Growth and Bioenergetic Models for Steller Sea Lions (*Eumetopias jubatus*) in Alaska. M.Sc. Theses – University of British Columbia, Vancouver, Canada. 2000.
 44. Witherell D, Coon C. Protecting Gorgonian Corals off Alaska from Fishing Impacts. North Pacific Fishery Management Council; 2000.
 45. Zeppelin TK, Tollit DJ, Call KA, Orchard TO, Gudmundson CJ. Sizes of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) and Atka mackerel (*Pleurogrammus monopterygius*) consumed by the western stock of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) in Alaska from 1998 to 2000. *Fishery Bull*. 2004;102(3):509-21.



ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРОВ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПОЙ (*PUSA SIBIRICA* GMELIN, 1788) БЕРЕГОВОГО ЛЕЖБИЩА НА О. ДОЛГИЙ (УШКАНЫ ОСТРОВА, БАЙКАЛ) ПО МАТЕРИАЛАМ 2021 ГОДА

А.Б. Купчинский¹, М.Е. Овдин^{1, 2}, Е.А. Петров^{1*}

¹ Байкальский музей Сибирского отделения РАН, пос. Листвянка, Иркутская обл., Россия;

² Заповедное Подлеморье, пос. Усть-Баргузин, Баргузинский район, Бурятия, Россия

* Эл. почта: evgen-p@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 03.01.2024; принята к печати 06.02.2024

Использование береговых лежбищ байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.) в условиях одновременного воздействия двух факторов среды – исчезновения плавающих льдов и быстрого и резкого повышения уровня воды в оз. Байкал в летний период – изучено на основе видеоматериалов со стационарной видеосистемы, передающей информацию в режиме онлайн. Описаны особенности функционирования лежбища в 2021 году на о-ве Долгий (архипелаг Ушканы острова, оз. Байкал) – одном из главных береговых лежбищ байкальской нерпы. Этот год отличался необычным ледовым режимом и быстрым подъемом уровня воды, затопившей лежбища. Формирование первых залежек нерп в более поздние сроки коррелировало с особенностями ледового режима и было предсказано, но дальнейшая динамика общей численности животных на лежбище заметно отличалась от описанной ранее. Главное несбывшееся предположение – общая численность животных на береговом лежбище оказалась незначительной, в 2–3 раза меньше, чем в 2020 году, что нельзя объяснить только быстрым затоплением многих лежбищных участков. Кроме того, в течение лета нерпы вообще отсутствовали на береговом лежбище много времени (включая дни с благоприятными погодными условиями). Дана характеристика физического состояния животных на лежбище. Возрастной (размерный) состав залежек и упитанность нерп существенно не отличались от таковых 2020 года, но относительное количество линяющих особей было заметно меньше (в среднем 60% против 80%), что коррелирует с поздним ледоломом, но при этом быстрым исчезновением плавающих льдов. Около 1/3 животных в залежках имели внешне различимые признаки патологии кожно-волосного покрова различного генезиса, что характерно и для других лет. Сделан вывод, что почти одновременное воздействие двух абиотических факторов отразилось на береговом этапе годового цикла байкальской нерпы не совсем так, как ожидалось. Возможно, в какой-то мере отсутствие или малочисленность нерп в залежках обусловлена наличием большого числа посетителей (туристов), но не только этим. Без получения достоверных сведений по другим береговым лежбищам сделать более конкретные заключения проблематично.

Ключевые слова: байкальская нерпа, летние береговые лежбища, ледовый режим, уровень воды, фактор беспокойства; антропогенное влияние.

INFLUENCE OF ABIOTIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE USE OF THE BAIKAL SEAL (*PUSA SIBIRICA* GMELIN, 1788) OF THE SHORE ROOKING ON DOLGIY ISLAND (USHKANY ISLANDS, BAIKAL) ACCORDING TO DATA RELATED TO THE YEAR 2021

A.B. Kupchinsky¹, M.Ye. Ovdin^{1,2}, Ye.A. Petrov^{1*}

¹ Baikal Museum of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Listvyanka, Irkutsk region), Russia;

² Reserved Podlemorye (Ust-Barguzin, Barguzinsky District, Buryatia), Russia

* E-mail: evgen-p@yandex.ru

The usage of the coastal rookeries by the Baikal seal (*Pusa sibirica* Gm.) under the simultaneous influence of two environmental factors – floating ice disappearance and a rapid and sharp water level increase in the lake Baikal in summer – was studied based on video monitoring with stationary cameras, which transmitted information online. Dolgiy Island (Ushkany Islands archipelago, the Lake Baikal), one of the main coastal rookeries of the Baikal seal, was monitored in 2021. This year was distinguished by an unusual ice regimen and a rapid water level rise, which flooded the rookeries. The delayed formation of the first seal haulouts correlated with ice regimen characteristics and was predictable, but the

further dynamics of the total number of animals at the rookery differed markedly from those described earlier. The main unexpected observation was that the total number of animals in the coastal rookery was 2–3 times less than in 2020. This cannot be explained with only the rapid flooding of many rookery areas. Moreover, in summer, seals were completely absent from the coastal rookery for long periods (including the days when the weather was favorable). As to the physical condition of the seals at the rookery, their age (size) composition and fatness were not significantly different from those in 2020, but the relative number of molting individuals was noticeably lower, on average 60% vs. 80%, which correlates with the late ice break-up associated with a rapid disappearance of floating ice. About 1/3 of the animals in the haulouts had clearly visible manifestations of the skin and hair pathology of various origins, which is also typical for other years. On the whole, the almost simultaneous impact of the two abiotic factors affected the coastal stage of Baikal seal annual cycle not exactly as it could be expected. Perhaps, to some extent, the absence or small numbers of seals at their haulouts was caused by numerous human visitors (tourists). However, not only by that. It is problematic to make more specific conclusions without reliable information about other coastal rookeries.

Keywords: *Baikal seal, summer coastal rookeries, ice regime, water level, disturbance factor; anthropogenic influence.*

Введение

Байкальская нерпа (*Pusa sibirica* Gmelin, 1788) – единственное млекопитающее, обитающее во внутриконтинентальном водоёме, в оз. Байкал. Нерпа завершает трофическую цепь водоёма, тем самым играя исключительно важную роль в экосистеме [4]. По состоянию популяции нерпы можно судить о функционировании всей экосистемы Байкала, о её благополучии или негативных тенденциях. По этой причине объективная информация, дополняющая наши знания о популяции нерпы, является актуальной и востребованной.

Байкальская нерпа филогенетически имеет северные корни [16] и в значительной мере сохранила черты, присущие арктическим пагетодным тюленям, но отличается от них локальным ареалом и меньшей численностью [4]. Поэтому уязвимость байкальской нерпы к ухудшению условий обитания гораздо выше, чем у других пагетодных тюленей, поскольку, если арктические тюлени могут мигрировать в районы с более оптимальными условиями обитания [13], то ареал байкальской нерпы ограничен одним озером.

Потепление климата в Байкальском регионе особенно ярко отражается на ледовом режиме и чуть ли не ежегодно провоцирует возникновение неординарных условий для обитания байкальской нерпы, что должно влиять на поведение и физическое состояние тюленей. Ухудшение ледового режима выражается в уменьшении толщины льда, что влечёт за собой более раннее разрушение ледового покрова [12] и быстрое исчезновение плавающих льдов – субстрата, на котором в норме протекает ежегодная линька байкальской нерпы. С учетом современных представлений о влиянии глобального потепления на арктических и субарктических млекопитающих, в частности, на ластоногих, сезонное сокращение площади ледяного покрова и ухудшение качества льда рассматривают как существенное изменение среды обитания ластоногих, в некоторых случаях – как угрозу для популяции [13].

В современных климатических условиях в жизни байкальской нерпы возрастает роль и значение летних береговых лежбищ [14, 15], а основным стимулом

выхода на берег выступает необходимость завершения линьки, поскольку животные не успевают вылезти на плавающих льдах [7]. Сведения о летнем периоде жизни байкальской нерпы до наших работ [2, 3, 6–8] относились к 1930-м годам [1], и отчасти – к 1960–1980-м годам [4], когда условия обитания животных были иными, и речи о потеплении ещё не было.

В нашей предыдущей публикации [3] был сделан акцент на оценке фактора беспокойства на лежбищах северо-восточного берега оз. Байкал, приведён обзор литературы и подробно описаны паттерны поведения зверей в ответ на антропогенное воздействие на лежбище на о-ве Долгий в первый месяц его освоения в условиях 2022 года¹. В настоящей работе основное внимание уделено описанию функционирования того же лежбища в 2021 году в течение всего лета при других абиотических условиях. В частности, 2021 год отличался по условиям от других лет нехарактерной динамикой разрушения ледового покрова и очень быстрым повышением уровня воды. В тот год северная часть оз. Байкал очистилась от плавающего льда на 26 дней позже, чем в 2022 году, и на 10 дней позже, чем в 2020 году (6 июня), а уровень воды с 25 мая по 1 сентября увеличился на 91 см (по сравнению с 47 см в сезон 2022 года и 63 см – в 2020 году). Поскольку согласно нашей гипотезе время начала выхода зверей на берег и их численность в залёжках зависят от ледового режима в весеннее время по схеме «меньше льда – раньше выход и выше численность» [7], ледовому режиму было уделено больше внимания, и мы решили выяснить, справедливо ли обратное утверждение: «больше льда – позже выход и ниже численность» на примере функционирования того же берегового лежбища в указанных условиях. Мы полагаем, что оба фактора повлияли на посещаемость байкальской нерпой берегового лежбища: недолговечность плавающих льдов – на начальном этапе освоения лежбища, а многоводность – на последующем этапе. Мы ожидали, что по сравнению с 2020 [8] и 2022 годами [3]

¹ В этом году ограничения, вводимые на период эпидемии COVID-19, были окончательно сняты, и по сравнению с 2021 годом число посетителей Ушканьих островов увеличилось в 1,8 раза (с 2877 до 5247 человек).

выход нерп на береговые лежбища в 2021 году будет поздним по срокам, общая численность зверей относительно небольшой, и, кроме того, численность линяющих животных будет меньше. С другой стороны, с учетом летней динамики уровня воды в оз. Байкал в 2021 году предполагалось, что в связи с быстрым затоплением лежбищных участков численность нерп в залёжках должна уменьшиться уже в летние месяцы, а не к осени, как наблюдалось обычно. Проверка наших гипотез и стала целью данной работы.

Материалы и методы

Материалом для статьи послужили видеосъёмки на участке одного из основных лежбищ байкальской нерпы (северная оконечность о-ва Долгий, архипелаг Ушканьи острова), проведённые с мая по октябрь 2021 года. Архипелаг Ушканьи о-ва включает 4 острова (рис. 1), находится на границе южной и северной котловин оз. Байкал и входит в состав ФБГУ «Объединенная дирекция Баргузинского государственного природного биосферного заповедника и Забайкальского национального парка» – «Заповедное Подлесье».

Методика получения видеоматериалов неоднократно описана в наших предыдущих публикациях и более подробно изложена в работах авторов идеи организации видеонаблюдения за нерпой [5, 8, 10, 11].

Видеосъёмку вели с помощью стационарной видеосистемы, смонтированной на северной оконечности острова (рис. 1, 2), она в режиме реального времени

передавала информацию через интернет непосредственно в Байкальский музей (www.bm.irk.ru). Использовалась купольная камера Axis Q6035-E; передача информации с острова и управление видеочамерой осуществлялись по высокоскоростному каналу связи через промежуточные пункты (ретрансляторы) с помощью оборудования RADWIN 2000C; электропитание получали с помощью солнечных батарей и ветрогенератора «Аполло-650», смонтированных на острове. Для анализа использовали архивные данные.

Значимые видео анализировались по стоп-кадрам (методом срезов) [8]. Весь сектор осмотра для удобства мы разделили на правый и левый фланги (ПФ, ЛФ), границей между ними служила большая прибрежная глыба – Камушек (рис. 2). Физиологическое состояние зверей оценивали визуально (рис. 3), при этом фиксировали такие виды патологий, как облысевшие участки тела, язвы, фурункулы и т. д., а также шрамы. Признаками наличия линьки служили специфическая окраска животных (преобладание буро-жёлтых оттенков), «вздыбленность» волосяного покрова на спине и по бокам, не полностью отросшие вибриссы. Визуально просматривая изображения животных на стоп-кадрах, мы выделяли три возрастные группы с учётом размера: молодые (мелкие) животные в возрасте ≤ 3 лет; неполовозрелые особи в возрасте 4–7 лет и взрослые (крупные) особи старше 7 лет (масса тела этих особей приблизительно составляла соответственно 15–30, 30–40/50 и ≥ 50 кг). Упитанность животного (у ластоногих – отношение массы подкожного

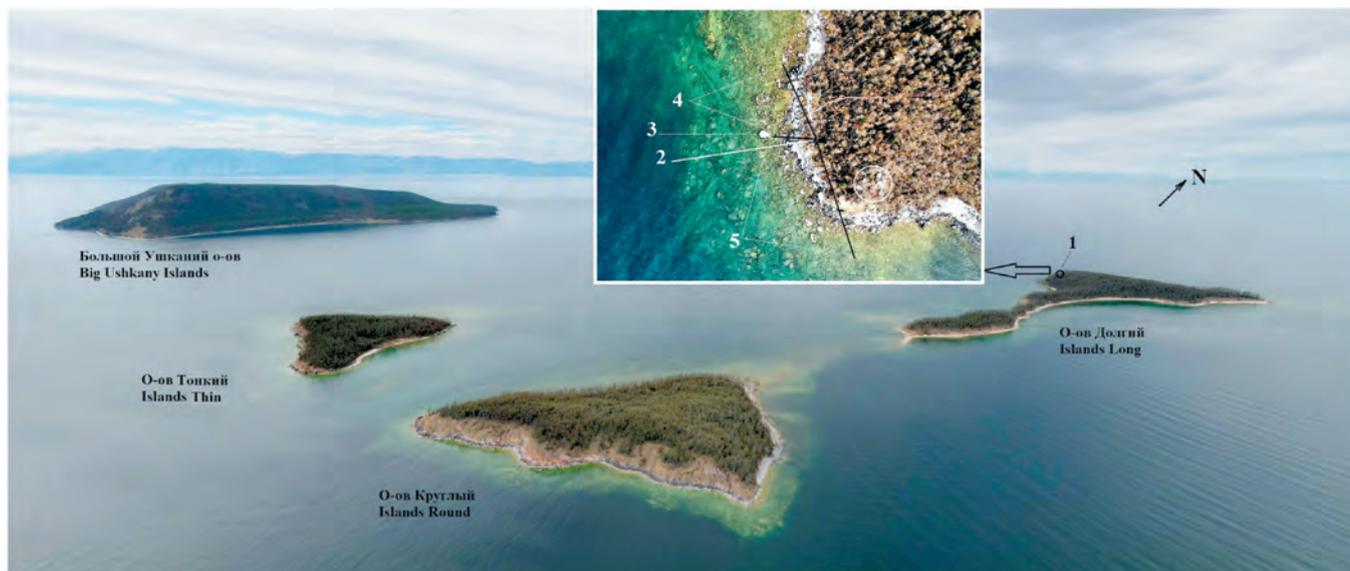


Рис. 1. Архипелаг Ушканьи острова, место расположения видеосистемы (1) на северной оконечности о-ва Долгий. На врезке: видеочамера (2; кружком обозначены солнечные батареи и другое оборудование), скала Камушек (3), правый фланг (4) и левый фланг (5) сектора наблюдения (фото А.А. Сыроватского с БПЛА)



Рис. 2. Ледовая обстановка на изучаемом участке берегового лежбища на о-ве Долгий (стоп-кадры с видео-онлайн <http://bm.isc.irk.ru>): А – 27 мая; В – 3 июня; С – 4 июня. Обозначены: К – Камушек; а-б-С – правый фланг (ПФ) лежбища (без К); в жёлтой окружности – нерпы на льдине; сакуи – наплески воды, замёрзшие на прибрежных камнях



Рис. 3. Фрагменты залёжки байкальской нерпы на Камушке. Лежат особи разного размера, пола и физиологического состояния. Обозначены точками разного цвета: белый – особи вылинявшие; красный – особи линяющие (разные стадии); жёлтый – особи, имеющие видимые патологии на кожно-волосаном покрове (стоп-кадр с видео К.М. Иванова)

жира + шкура (хоровины) к общей массе тела (%) оценивали визуально с учётом сезона, размера/возраста и, по возможности, у взрослых зверей и по половой принадлежности). Всех нерп подразделяли на четыре группы: с высокой упитанностью, когда масса хоровины >50%; с нормальной (средней) упитанностью (40–50%); с недостаточной (<40%) и с низкой упитанностью (так называемые «заморыши», масса хоровины около 20%). Под последними понимают животных, которые практически находятся на грани жизни и смерти, и их физическое состояние является, как правило, результатом позднего рождения и недостаточного питания в первые месяцы жизни [4].

Данные обчислены стандартными методами вариационной статистики (Microsoft Excel), приведены: m_x – среднее арифметическое значение, $\pm SE$ – стандартная ошибка, n – число измерений или животных и r – коэффициент корреляции между сравниваемыми величинами; значимость различий определяли по t -тесту (при $p = 0,05$) и путём проведения однофакторного дисперсионного анализа (F -критерий, при $\alpha = 0,05$). Оценка ледового режима проведена по космическим снимкам (сайт www.sputnic.irk.ru), об уровне Байкала судили по данным с сайта www.rushydro.ru. При обсуждении, кроме видеоматериалов, использовали наши наблюдения, полученные непосредственно при посещении лежбищ в 2021 и 2022 годах во время рейсов на экспедиционном судне «Профессор А.А. Тресков».

Результаты и обсуждение Ледовый режим

Время стояния ледяного покрова в 2021 году было достаточно продолжительным, но его разрушение было необычным. В южной части подвижки льда начались поздно (28 апреля), и процесс разрушения льда проходил долго. По принятым нами критериям с момента вскрытия до полного очищения ото льда акватории южного Байкала прошло около 25 дней. Но плавающие в открытых частях акватории льды, являющиеся главным субстратом для линьки тюленей, сохранялись до 14 мая или чуть дольше. Долго сохраняющиеся припай и прибитые к нему остатки дрейфующих битых льдов у восточного берега нерпы не используют для массовых залёжек, на этих льдах могут залегать только единичные особи [4]. В северной части Байкала, наоборот, лёд исчез быстро: с момента первых подвижек (21–22 мая) до полного освобождения акватории ото льда прошло не больше 14 дней². То есть время «жизни» плавающих льдов, необходимых для линьки нерп, в южной части озера, по фор-

² Для сравнения: в 2020 году в южной части время ледолома (до полного исчезновения льда) составляло 19 дней (с 9.05), а в северной части – 10 дней (до 11.05) [7].

³ Максимальное количество животных, которое может физически разместиться на лежбище.

мальным признакам было достаточным для успешной линьки значительной части зимующих там нерп, а в северной части – явно недостаточным. В северном Байкале последовательность разрушения ледяного покрова была нехарактерной. По имеющейся информации можно утверждать, что малоподвижный, разрушающийся «на месте» ледяной покров максимум за неделю превратился в разреженные ледяные поля, а ещё через 4–5 дней лёд, сместившись к восточному берегу, практически исчез (4–5 июня). Последние ледяные поля скопились не как обычно, у северо-восточного берега, а в районе Ушканьих островов, то есть в непосредственной близости от основных лежбищ (рис. 2), что предопределяло быстрое и массовое появление зверей на берегу.

Начало формирования береговых залёжек

Вплоть до 4–5 июня на лежбищном участке присутствовали припайный лёд и сакуй (рис. 2), и нерпы не могли использовать прибрежные камни. Несколько зверей в эти дни залегали на небольших плавающих льдинах в непосредственной близости к лежбищу (рис. 2С) и вылезали на припайный лёд в поле зрения камеры. Припайный лёд исчез к 7 июня, и на протяжении 3–4 дней на воде наблюдали единичных животных, которые не делали попыток выбраться на камни, так называемые «разведчики» [1]. Первые залёжки нерп возникли 10 июня, на 5–6-й день после полного очищения северного Байкала ото льда, и на 3 недели позже, чем в 2020 году [8]. С 10 по 15 июня на ПФ лежбища (рис. 2, врезка) отмечался рост их численности, но он быстро сменился резким падением (рис. 4). В отдельные часы и дни на ПФ одновременно залегало около 100 нерп, но в целом с 10 по 30 июня животных было немного (рис. 4). Численность нерп резко менялась, и часто среднесуточные значения не превышали 10 (в этом случае лежбище считалось «пустым»). Лишь дважды (15 и 23 июня) на ПФ в среднем лежало 60–70 нерп. На левом фланге (ЛФ, рис. 2) звери появились на 2 дня позже (12 июня), чем на ПФ (рис. 4), и их численность была заметно меньше. Таким образом, в 2021 году по сравнению с 2020 годом на изучаемом лежбище: 1) нерпы появились и сформировали залёжки на 3 недели позже; 2) численность зверей на лежбище была в разы меньше (в 2020 году в конце мая – начале июня она превышала 400 особей [8]); 3) не было ни одного выраженного привала³. Можно предположить, что число байкальских нерп, которые нуждаются в твёрдом субстрате, было небольшим.

³ Термин введен Т.М. Ивановым (1938) для случаев, когда звери одновременно и в большом количестве подходят к лежбищам и предположительно остаются на них относительно долгое время (несколько дней).

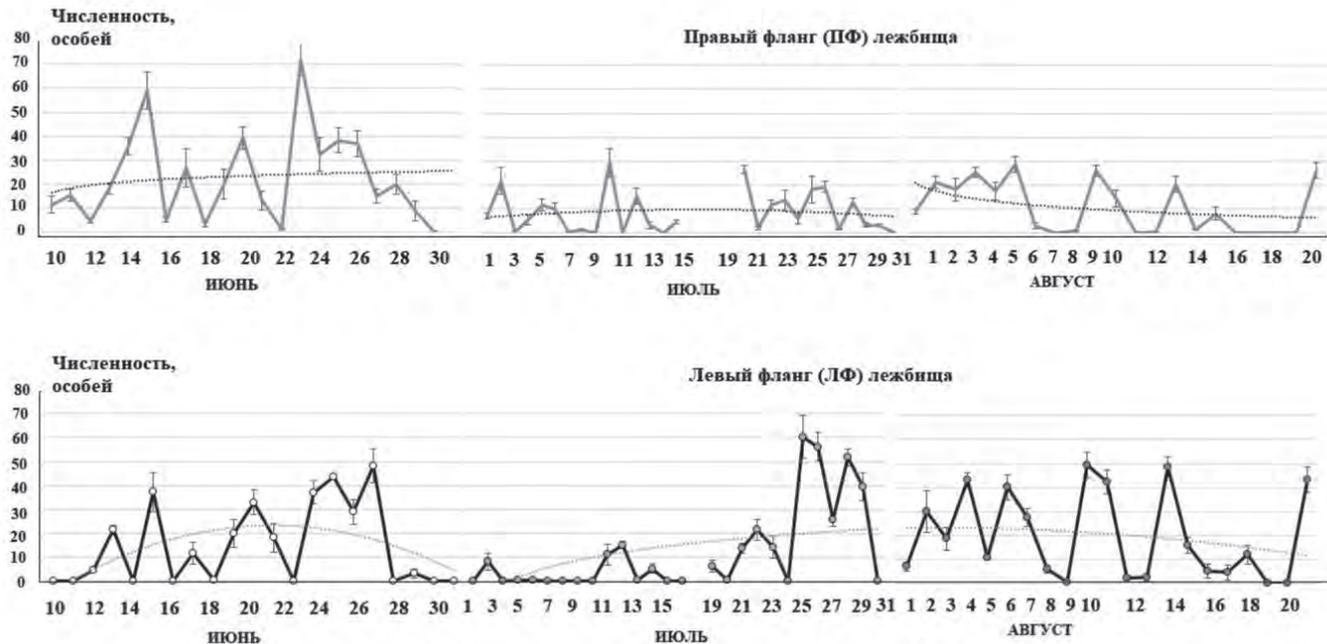


Рис. 4. Среднесуточное число нерп в залежках на правом и левом флангах лежбища в июне–августе 2021 года (пунктиром обозначены полиномиальные тренды для каждого месяца)

Летний этап функционирования лежбища

В конце июня численность нерп на обоих флангах лежбища резко уменьшилась, и в первой половине июля на ЛФ нерп почти не было, среднесуточная численность редко превышала 10 особей, а на ПФ – не превышала 30 (рис. 4). Максимальная численность нерп зафиксирована в течение двух дней (70 особей). Таким образом, численность нерп была в 2–3 раза меньше, чем наблюдали в это время в 2020 году. Такое незначительное число нерп в залежках на протяжении первой половины июля – не характерное явление. Можно предположить, что нерпы первого (июньского), весьма слабого, «привала», пробыв какое-то время на лежбище и на прилегающих акваториях, в конце июня покинули этот район Байкала. В июле на их место пришли сравнительно немногочисленные группы нерп, причём осваивали они также преимущественно ПФ лежбища (а также Камушек, см. ниже). Только в третьей декаде июля нерп стало больше, причём вновь прибывшие отдавали явное предпочтение ЛФ лежбища (рис. 4). Никакой устойчивой динамики численности нерп на лежбище в июле, как и в июне, не наблюдалось (рис. 4).

В августе несколько дней нерпы вообще не выходили на берег, и их среднесуточная численность в залежках на ПФ не превышала 30 особей, что было немного больше, чем в июле. На ЛФ средняя численность зверей в залежках была относительно большой (для 2021 года) – достоверно больше, чем в июле, и значи-

мо больше, чем на ПФ. Однако средняя общая численность зверей, залегающих ежедневно в июне, июле и августе, не различалась ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{крит.}}, p < 1, \alpha = 9,05$).

Таким образом, поздний выход нерп на твёрдый субстрат в 2021 году по сравнению с 2020 годом хорошо коррелирует с особенностями ледового режима и объясняется относительно длительным периодом существования линных залёжек на дрейфующих льдах. Этим же можно объяснить малочисленность залёжек в начале освоения берега. Дальнейшая временная (сезонная) динамика численности нерп, залегающих на берегу, была не характерной и заметно отличалась от описанной ранее [3, 15]. Это можно связать с водным режимом, но только отчасти. К концу июня уровень воды поднялся на 25 см и на 30.06.2021 составил 456,58 м над у. м., а уменьшение численности залегающих зверей было резким и значительным (рис. 4). К тому же в августе в условиях дальнейшего увеличения уровня воды численность зверей увеличилась. По нашему мнению, к островам подошли другие группировки байкальских нерп, возможно, из южной части озера.

Избирательность в выборе мест залегания

На начальном этапе освоения лежбища в 2021 году в целом животных было значительно меньше, чем в 2020 году, но у нерп наблюдалась одна и та же картина «избирательности» в выборе мест залегания – предпочтение отдавалось ПФ. Это явление, если оно

существует, не поддаётся удовлетворительному объяснению [6], и возможно, что распределение складывается случайным образом. Однако сложившись, оно достаточно долгое время поддерживалось. Только в последней пятидневке июля на ЛФ нерп стало значительно больше, чем на ПФ. Такое же соотношение сохранялось и в августе (рис. 4) и наблюдалось в августе 2020 года [8]. О наличии некой избирательности в выборе места залегания говорят и данные о частоте посещения лежбищ нерпами. В летние месяцы звери отсутствовали на лежбище разное время (табл. 1): на ПФ число дней, когда нерп не было (или их было <10 особей), увеличивалось от июня к августу, а на ЛФ, наоборот, уменьшалось (в % времени наблюдений; в скобках число дней, когда велось наблюдение).

Суточная динамика заполнения лежбища

В июне, июле и августе она на ПФ различалась, но не чётко (рис. 4). В июне с утра на лежбище было относительно много животных, днём отмечалось незначительное увеличение, а к вечеру – заметное умень-

шение их численности (среднечасовые показатели различаются недостоверно, они не превышали 30 особей). В июле с утра нерп было очень мало, но в течение дня численность животных в целом увеличивалась, достигая максимума к вечеру (рис. 4). В августе, наоборот, с утра лежбище было несколько многочисленнее, чем в июле, но все равно численность нерп была в 2–3 раза меньше, чем в июне. Судя по линии тренда, в течение дня небольшое увеличение численности животных к 13 ч сменялось падением к ночи, но среднечасовая численность оставалась практически постоянной.

На ЛФ суточная динамика численности нерп, судя по трендам, похожа на наблюдаемую на ПФ. Можно заключить, что какой-то определённой единой динамики численности нерп на лежбище летом в течение суток не просматривалось, как это и отмечалось для других лет [2, 14, 15]. Это означает, что мигрирующие в пелагиали нерпы (группы нерп) могут подойти к лежбищу в любое время суток, и что уход зверей с лежбища к вечеру не связан с уходом на кормёжку или, по крайней мере, не определяется только профи-

Табл. 1

Частота посещения лежбищ нерпами

Локация	Отсутствие нерп (%)			r между численностью нерп и посетителей		
	Июнь (21)	Июль (28)	Август (21)	Июнь (21)	Июль (28)	Август (21)
На ПФ	10	36	48	0,30	0,22	0,47
На ЛФ	43	45	19	0,33	0,41	0,61

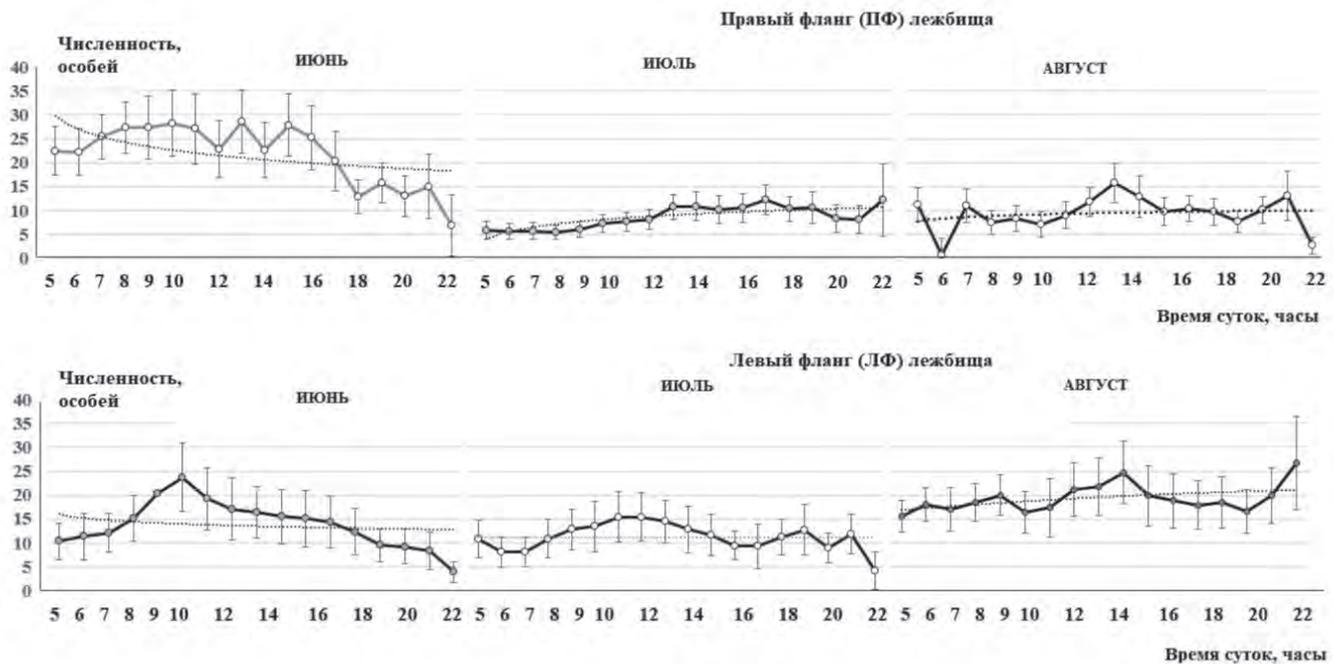


Рис. 5. Среднесуточная динамика заполнения правого и левого флангов лежбища в июне–августе 2021 года (приведены полиномиальные линии тренда для каждого месяца)

ческим фактором. Хорошо «улежавшиеся» нерпы могут оставаться на своих лёжках всю ночь, то есть эти особи не испытывают острого чувства голода.

Лежбищный участок Камушек

Это место имеет особое значение. В отличие от других участков эта большая скала никогда не затапливается и нечасто заливается водой даже во время штормов. Не случайно за 71 день наблюдений летом на Камушке нерпы отсутствовали только два дня – менее 3% времени наблюдения, и то один раз преимущественно по причине неблагоприятной погоды (дождь и небольшое волнение с ветром), а 7 июля нерп согнали около 5 ч утра, они ушли и не вернулись не только в этот день, но и на следующий. Число нерп на Камушке в течение суток колебалось от 0 до 30–40 особей, а в отдельные часы превышало 50 особей.

Доступность и вместимость разных субстратов для залегания нерп определяется не только геометрией того или иного камня, но и уровнем воды (см. ниже) в данное время, но в случае Камушка картина обратная. Среднесуточная численность нерп с июня по август (рис. 6) достоверно увеличивалась ($F_{набл.} > F_{крит.}$, p -зна-

чение < 1 , $\alpha = 0,05$), несмотря на уменьшение площади незатопленной поверхности, то есть залёжки становились всё более плотными. Если в июне среднесуточная численность залёжки по большей части не превышала 35 особей, то в августе – не сокращалась ниже 35 особей. Таким образом, сезонная динамика численности нерп на Камушке заметно отличалась от таковой на соседних участках суши (сравните рис. 6 и 4).

Залёжка на Камушке с раннего утра (с 5 ч) всегда была многочисленной, но в августе более многочисленной, чем в июне и июле, опять-таки, несмотря на повышение уровня воды (см. ниже). В июне и июле численность лежащих нерп увеличивалась к 11–13 ч и уменьшалась к вечеру (рис. 6). В августе такой динамики не наблюдалось (скорее всего из-за антропогенного влияния, см. ниже): численность залёжки с утра до вечера была большой, и только после 18 ч несколько сокращалась, но различия значений статистически не достоверны.

Уровень воды

В Байкале после строительства плотины Иркутской ГЭС на Ангаре он регулируется, однако про-

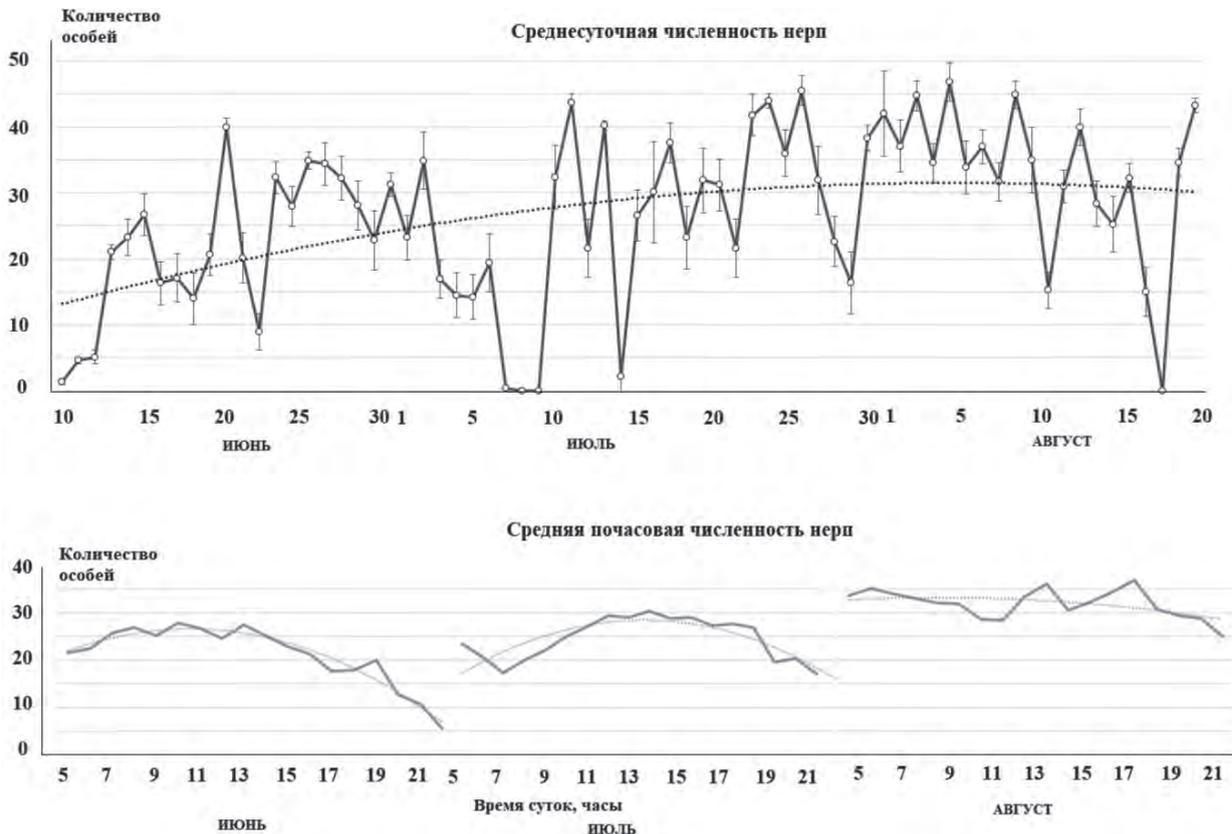


Рис. 6. Среднесуточная (вверху) и средняя почасовая (внизу) численность нерп в залежках на Камушке в июне–августе 2021 года (пунктиром показаны полиномиальные тренды для всех периодов)

исходят и его сезонные колебания. Обычно уровень воды достаточно равномерно увеличивается от зимы к лету, нередко захватывая и часть осени; размах колебаний может превышать 1 м (рис. 7). В 2021 году уровень воды изначально не отличался от такового в 2020 году: 27 мая он составлял 456,25 м над у. м., а 1 июня достиг отметки 456,28 м, такой же, как был на эту дату в 2020 году. Однако дальнейшие изменения уровня были разными. В 2020 году в летнее время уровень повышался медленно и к середине сентября достиг отметки 457,0 м. В 2021 году процесс шёл значительно быстрее, и уже 15 августа уровень воды составлял 457,0 м над у. м., а до прекращения наблюдений увеличился ещё на 22 см (1 октября 2021 года). В результате в 2021 году уже в августе значительная часть лежбищных участков оказалась затопленной (рис. 7С), и экологическая ёмкость лежбища быстро уменьшилась. Хорошая корреляция численности залегающих нерп с уровнем воды наблюдается на ПФ лежбища: с увеличением уровня и сокращением площадей, пригодных для залегания, численность животных уменьшалась (в июле и августе). Но на ЛФ чёткая картина не складывается, возможно, потому что там часть субстрата остаётся «сухой». В целом, общая численность нерп, посетивших лежбище (определяется как сумма среднесуточной численности для каждого месяца), отрицательно коррелирует со средним уровнем воды в Байкале в данный месяц ($r = -0,68$). Указанная зависимость очевидна: чем меньше становится площадь субстрата вне воды, тем меньше животных могут разместиться на лежбище. С Камушкой ситуация иная. В июне повышение уровня воды облегчало нерпам вылезание на Камушек через лаз – самое низкое место (рис. 7А), и численность зверей положительно коррелировала с уровнем воды ($r = 0,73$); в июле коэффициент корреляции уменьшился до 0,30, а в августе, когда площадь субстрата на камне заметно сократилась (рис. 7В), корреляция стала отрицательной ($r = -0,43$).

Одним из последствий затопления берега и лежбищных камней в литорали могло стать освоение тюленями новых локаций для формирования береговых залёжек. Однако наблюдения показывают, что на Ушканьих островах этого не происходит. Если использовать затопляемый субстрат становится невозможно, даже при залегании в положении «в полуводе», когда значительная часть тела находится в воде (рис. 8), нерпы покидают его.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

Имеющиеся материалы позволили оценить физическое состояние животных на лежбище. Несмотря на очевидные недостатки и неизбежные ошибки при визуальной оценке, получены интересные данные (табл. 2). В начальный период освоения изучаемого

лежбища (с 11 по 30 июня) залёжки нерп как на огромном Камушке, так и на других камнях и на берегу (на ПФ и ЛФ), не различались по размерно-возрастному составу, но на Камушке, по сравнению с флангами, залегало меньше очень хорошо упитанных особей, и преобладали нормально упитанные (табл. 2). Возрастной (размерный) состав залёжек в 2021 году существенно не отличался от такового в 2020 году [8].

Линяющие особи составляли значительную часть залёжек (Табл. 2), и их численности (в %) на разных участках лежбища достоверно не различались. Однако относительная численность продолжающих линьку животных в 2021 году была заметно меньше, чем в 2020 году (в тот год нерпы начали выходить на берег значительно раньше – с 18 мая) – в среднем 60% против 80% [8], что коррелирует с годовыми особенностями ледового режима. Вдвое меньше, чем линяющих, но также очень много (31%) было нерп с патологиями кожно-волосного покрова, и их численность при сравнении с 2020 годом [8] не уменьшилась. Подчеркнём, что вылинявшие особи в данном случае категория достаточно условная. Животных, у которых был бы нормальный, хорошо отросший волос по всему телу в категории «вылинявшие» было не больше 50%. С другой стороны, многие животные, отнесённые нами к категории линяющих, если не линяли диффузно (отдельными участками тела), то имели патологические нарушения волосного покрова, вплоть до больших облысевших участков тела. Какая-то часть этих патологий, как мы предполагаем, являются последствиями затянувшейся, не физиологично протекающей линьки; например, когда большие участки тела напрочь лишены волос и не защищены от внешних негативных факторов, могут возникать заболевания кожи.

Если судить по численности линяющих зверей, то потребность байкальской нерпы в твёрдом субстрате сохранялась всё лето. Относительное число линяющих зверей на лежбище (без Камушка) в июле составляло $42 \pm 4,06$ ($n = 12/271$ залёжки/особи), а в августе – $47 \pm 2,73\%$ ($n = 17/332$), что достоверно меньше, чем было в июне (табл. 2) (t_d -тест). Но в залёжках на Камушке линяющих особей стало ещё больше: в июле $67 \pm 2,71\%$ ($n = 35/1266$), в августе – $68 \pm 1,51\%$ ($n = 17/600$). Численность нерп с патологиями на протяжении лета оставалась также значительной. На Камушке таких животных в июле было $30 \pm 2,17\%$, в августе – $38 \pm 2,16\%$, а на флангах лежбища, соответственно, $24 \pm 3,70\%$ и $36,7 \pm 2,42\%$. Существенные различия между численностями линяющих особей на залёжках на Камушке и другом субстрате мы связываем с более адекватными условиями для протекания линьки на Камушке [7].

Выше мы отметили, что ожидаемых привалов нерп на лежбище в 2021 году не произошло даже на начальном этапе формирования залёжек (в июне). В июле численность нерп в залёжках резко сократилась, и только в кон-

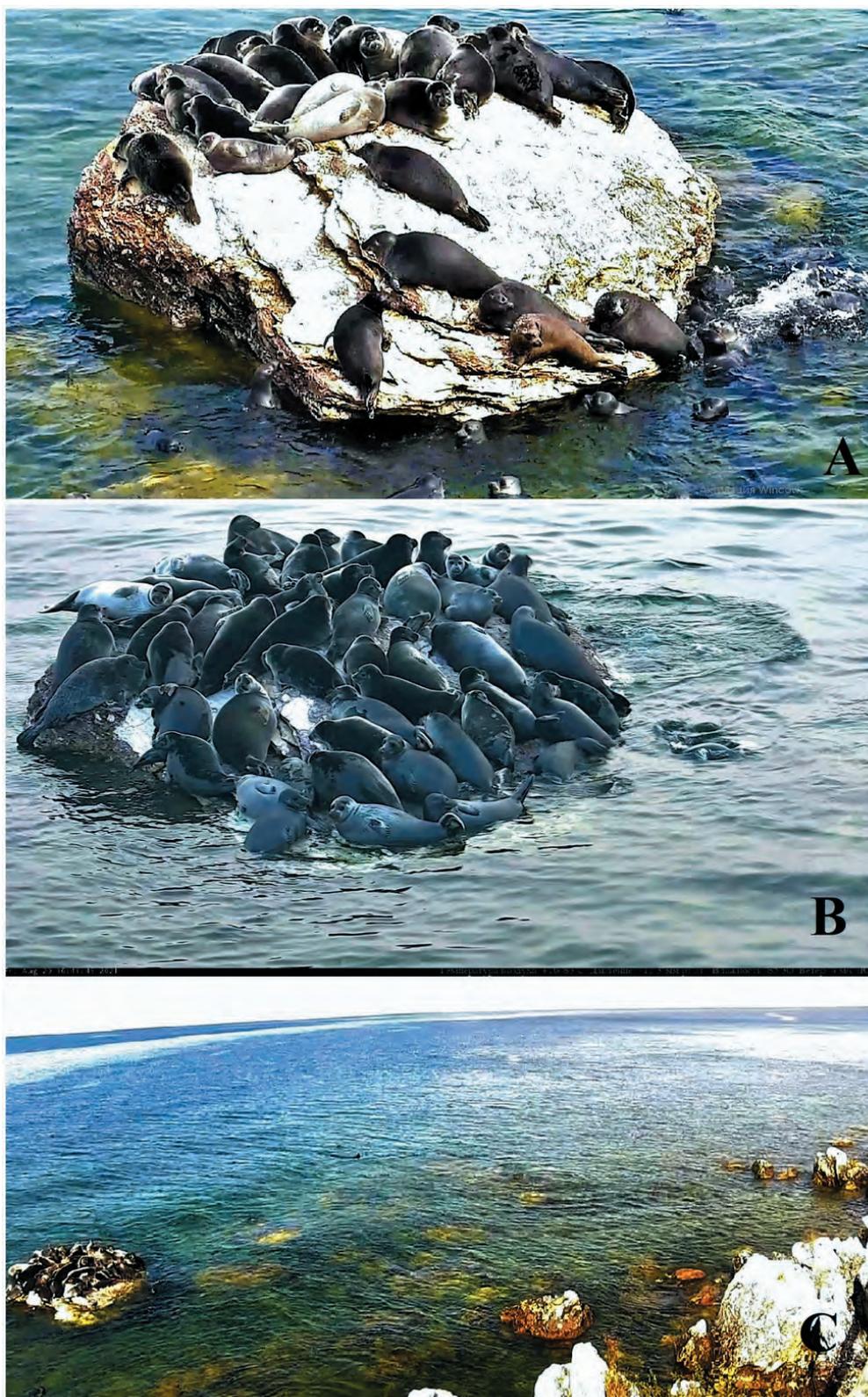


Рис. 7. Залёжки байкальской нерпы при разных уровнях воды в 2021 году: А – на Камушке 17 июня, уровень воды 456,42 м над у. м.; В – на Камушке 28 июля, уровень воды 456,92 м над у. м. (много зверей с неоконченной линькой и патологиями кожно-волосяного покрова и конкурентная борьба за право выбраться на камень); С – затопленные камни на правом фланге лежбища 25 августа, уровень воды 457,12 м над у. м. (стоп-кадры с видео)



Рис. 8. Байкальские нерпы, залегающие на затопляемых камнях (стоп-кадр видео)

Табл. 2

Физиологическое состояние байкальских нерп на разных участках северного лежбища на о. Долгий (Ушканьи острова) в июне 2021 года ($X \pm SE$)

Показатель	Камушек, залёжек 23, $n = 631$ нерп	ПФ + ЛФ, залёжек 24, $n = 448$ нерп	Камушек + ПФ + ЛФ, залёжек 47, $n = 1079$ нерп
<i>Численность нерп:</i>			
в исследованной залёжке (шт.)	$27 \pm 2,2$	$19 \pm 1,3$	$23 \pm 1,4$
линяющих в залёжке (%)	$64 \pm 4,0$	$58 \pm 4,1$	$61 \pm 2,9$
с патологиями в залёжке (%)	$32 \pm 2,2$	$30 \pm 3,0$	$31 \pm 1,8$
<i>Численность размерной группы (%)</i>			
Крупные (взрослые)	$53 \pm 2,0$	$59 \pm 2,2$	$56 \pm 1,6$
Средние (созревающие)	$27 \pm 2,1$	$27 \pm 2,1$	$27 \pm 1,5$
Мелкие (неполовозрелые)	$20 \pm 2,4$	$14 \pm 1,8$	$17 \pm 1,5$
<i>Численность нерп разной упитанности (%)</i>			
Высокая	$8 \pm 1,1^*$	$19 \pm 2,1^*$	$14 \pm 1,4$
Нормальная	$32 \pm 2,8$	$33 \pm 2,3$	$33 \pm 1,8$
Недостаточная	$50 \pm 3,2^{**}$	$42 \pm 2,5^{**}$	$46 \pm 2,1$
Низкая	$9 \pm 1,8$	$6 \pm 1,5$	$7 \pm 1,2$

* Достоверные различия (t -тест, $p < 0,05$).

це лета (в августе) общее количество зверей на лежбище увеличилось, однако оставаясь меньшим по сравнению с прошлым годом [8]. Однако возможно, что это не совсем так. Как показали наши наблюдения, данные, получаемые на лежбище на северной оконечности о-ва Долгий, нельзя механически распространять на другие лежбища, главным образом потому, что они редко подвергаются антропогенному воздействию. Насколько интенсивно использовались лежбища на соседних островах (Круглый и Тонкий) в 2021 году, неизвестно, но в конце августа по нашей визуальной оценке с берега и лодки отдельные залёжки с учётом высокого уровня воды (>457 м над у. м.) были многочисленными – по 100–150 особей. По литературным данным в июне 2022 года, когда на изучаемом лежбище насчитывалось несколько десятков нерп, на северном лежбище соседнего о-ва Круглый залегали около 600 нерп (подсчёт по снимку с БПЛА), а на о-ве Тонкий наблюдались многочисленные залёжки [3]. Поэтому первый в сезоне 2021 года массовый привал нерп мог случиться не на о-ве Долгий, а на других островных лежбищах.

Байкальские нерпы после полного отсутствия появляются на лежбище в более или менее в большом числе буквально за один день, или даже в течение нескольких часов (они приходят как бы «вдруг и ниоткуда»). Этот феномен подтверждает гипотезу о групповых перемещениях нерп в период открытой воды (в нагульный период) [1, 6, 14].

Антропогенный фактор

Кроме абиотических, существует редко учитываемый, но весьма негативный по воздействию фактор – человеческий. Наблюдаемое лежбище является практически единственным местом на Байкале, где существует официально организованный показ тюленей туристам (на врезке рис. 1 можно заметить деревянный настил – тропинку, ведущую к смотровой площадке; туристов от нерп прикрывает стена с «бойницами»). За 23 дня число туристов, посетивших лежбища в июне, составило 477 человек, то есть по $21 \pm 2,6$ в день (максимальное число – 42 человека в день), и численность посетителей положительно коррелировала с численностью нерп ($r = 0,33$), при этом на видео зафиксировано 50 случаев частичного или полного схода нерп с лежбища по вине посетителей. В июле число посетителей увеличилось в 2 раза (до 985) с максимумом 92 человека в день (в среднем за 31 день – $32 \pm 4,6$ человека) и на ЛФ + ПФ усматривается прямая связь этого параметра с численностью нерп ($r = 0,41$). Но сходов отмечено только 26, поскольку нерпы несколько дней на лежбище практически отсутствовали. В августе туристов было ещё больше (за 21 день 1415 человек, в среднем $54 \pm 7,9$ в день). Коэффициент корреляции с численностью нерп на лежбище был максимальным за лето (0,58), но отмечено всего

16 массовых сходов животных (7 дней нерп практически не было). Но посещаемость лежбищ зверями была выше – нерп не было 52% времени. Выявить ожидаемую отрицательную корреляцию между численностью посетителей и нерп на лежбище не удалось (смотрите табл. 1), но примечательно, что и тут на разных участках лежбища получены неодинаковые результаты. В целом, за летние месяцы корреляция между сравниваемыми параметрами в случае ПФ отсутствовала ($r = 0,096$), а на ЛФ – была достаточно тесной ($r = 0,46$) (в целом для всего лежбища $r = 0,32$). Заметим, что звери, залегающие на ПФ, подвергаются значительно большему беспокойству, нежели нерпы на ЛФ, в силу разного обзора (большинство зверей с ЛФ визуально не могут видеть, что происходит на смотровой площадке).

Многие сходы нерп в воду имеют откровенно панический характер, и к ним больше подходит термин «сгоны» (случаются и преднамеренные). После сгонов звери не возвращаются к берегу по несколько часов, а то и дней. В течение летних месяцев 2021 года в целом численность нерп на лежбище сокращалась от июня (рис. 5А) к августу (рис. 5С), а число посетителей – увеличивалось, и видно, что почти после каждого пика посещаемости на следующий день следует сокращение численности зверей, выходящих на сушу (рис. 9). То есть большинство резких почти ежедневных «скачков» численности нерп спровоцированы именно антропогенным фактором. Казалось бы, между числом посетителей и численностью животных должна быть положительная корреляция, но это не так ($r = -0,98$). В данном случае мы имеем дело с двумя параметрами, каждый из которых определяется многими факторами и имеет свою динамику. Число людей, посещающих Байкал, в целом увеличивается, и оно не зависит от того, присутствуют на лежбище нерпы или нет (такой информацией туристы не владеют). Тем не менее, в 2022 году, когда людей на лежбище было существенно больше, чем в 2021 году, были выявлены другие корреляции между численностями зверей и посетителей [3]. В частности, в июне лежбище посетили 763 человека, и коэффициент корреляции был слабо отрицательным (в среднем $r = -0,19$), а в июле (2662 человека) – на ПФ корреляция отсутствовала ($r = 0,08$), а на ЛФ была слабо положительной ($r = 0,26$) [3]. Очевидно, что интенсивность фактора беспокойства напрямую зависит от ряда параметров, начиная от сезона и численности групп, кончая манерой поведения посетителей. У зверей – своя динамика, зависящая от фактора беспокойства, но, главным образом, на коротких отрезках времени.

Заключение

Анализируемые материалы, полученные в сезон 2021 года, позволили описать поведение байкальской нерпы в ответ на особенности ледового режима в северной части оз. Байкал и последующего быстрого

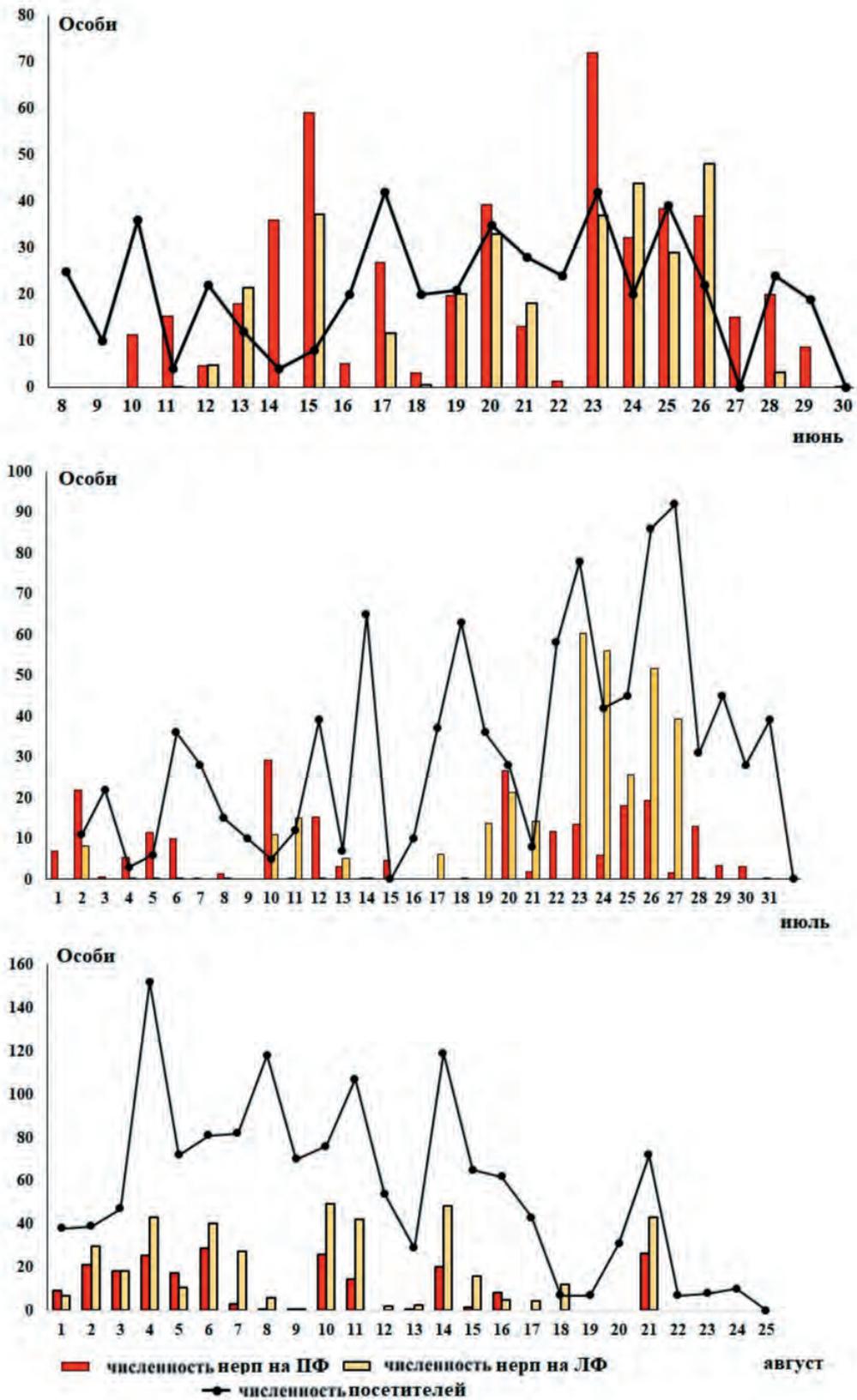


Рис. 9. Число посетителей (в день) и среднесуточная численность нерп на лежбище на о. Долгий в июне–августе 2021 года

затопления лежбищных участков в результате подъёма уровня воды. За последнее десятилетие описанное выше сочетание ледовых условий и уровня воды сложилось впервые. Соответственно, и поведение нерп в плане освоения берегового лежбища на о-ве Долгий, было необычным. Во-первых, сроки появления тюленей на лежбище, как и предполагалось, были значительно смещены в сторону лета, и первые залёжки сформировались только во второй декаде июня. Во-вторых, численность зверей на береговом лежбище оказалась незначительной. В начальный период освоения лежбища, когда обычно наблюдаются самые мощные привалы зверей, максимальная численность зверей была в 4 раза меньше, чем при освоении этого же лежбища в 2020 году, и в 2–3 раза меньше в дальнейшем. В-третьих, временная (сезонная) динамика численности нерп на лежбище в 2021 году в целом была необычной: уже в конце июня численность нерп резко сократилась и оставалась низкой весь июль, и только в августе, вероятно, с подходом новых групп зверей из других районов озера, несколько увеличилась.

Хотя негативное влияние повышения уровня воды на численность нерп, несомненно, присутствует, увеличение численности нерп в августе говорит о том, что напрямую связывать снижение численности нерп на лежбище только с затоплением лежбищного субстрата нельзя. Здесь нивелирующую роль, вероятно, сыграл Камушек. Численность нерп на этом субстрате была всегда значительной, а её динамика не такой, как на флангах лежбища, и она никак не соотносилась с динамикой уровня воды.

Влияние беспокойства в данном случае также не может быть определяющим в изменении динамики численности нерп, о чём свидетельствует всё тот же факт увеличения численности нерп на лежбище в августе, несмотря на резко возросшее количество посетителей.

Таким образом, необычная летняя динамика численности байкальской нерпы на лежбище в 2021 году, скорее всего, является следствием особенностей ледового режима в период ледолома и отражает групповое

поведение самих нерп в безлёдный период. Значительное относительное количество линяющих и условно «больных» зверей, которым требуются адекватные условия для завершения затянувшейся линьки или оздоровления (возникающие на воздухе, а не в воде), на протяжении всего лета, в очередной раз свидетельствует о важной роли летних береговых лежбищ в жизни байкальской нерпы.

Люди, посещающие лежбище, неизбежно привносят заметное негативное влияние на поведение байкальской нерпы, нарушая её естественное времяпровождение на береговом лежбище. Очевидно также, что избыточный фактор беспокойства влияет и на получаемые нами результаты, то есть по сути мы изучаем лежбище, подвергаемое явному антропогенному воздействию. Чтобы адекватно оценить это воздействие, необходимо проводить сравнительные исследования на лежбищах, не посещаемых людьми, в чём и будет заключаться следующий этап наших исследований.

Благодарности. Авторы благодарят технический персонал Байкальского музея за подготовку видеоматериалов, а также команду научно-исследовательского судна «Профессор А.А. Тресков» за добросовестную работу во время проведения экспедиционных рейсов и помощь в сборе первичных данных об антропогенном освоении берегов оз. Байкал.

Финансирование работы. Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 121032900077-4 «Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биогеоценозов территории Восточной Сибири». В работе использовано оборудование Центра коллективного пользования «Научно-экспедиционный центр Байкал» (<https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3213559>).

Соблюдение этических норм. Настоящая статья не содержит исследований с участием людей или животных в качестве объектов экспериментальных исследований. Библиографические ссылки на все использованные источники оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Иванов ТМ. Байкальская нерпа, её биология и промысел. Известия биолого-географического НИИ при Восточно-Сибирском государственном университете. 1938;8(1-2):1-119.
2. Купчинский АБ, Петров ЕА, Овдин МЕ. Первый опыт применения дистанционного мониторинга берегового лежбища байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.). Биота и среда природных территорий. 2021;2:77-94.
3. Купчинский АБ, Овдин МЕ, Петров ЕА. Антропогенное влияние на байкальскую нерпу (*Pusa sibirica* Gm.) в береговой период её жизни (по материалам 2022 года). Биосфера. 2023;15(3):56-60.

4. Пастухов ВД. Байкальская нерпа: биологические основы рационального использования и охраны ресурсов. Новосибирск: Наука; 1993.
5. Пастухов ВВ, Фиалков ВА. Удалённый мониторинг в режиме реального времени на Ушканьих островах озера Байкал как современный метод исследования байкальской нерпы (*Phoca sibirica* Gmelin). Байкальский зоол журн. 2011;1(6):5-9.
6. Петров ЕА, Купчинский АБ, Фиалков ВА, Бадардинов АА. Значение береговых лежбищ в жизни байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gmelin 1788 Pinnipedia). 1. Обзор. Зоол журн. 2021;100(5):590-600.
7. Петров ЕА, Купчинский АБ. Основная причина выхода байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.) на береговые лежбища – растянутая смена волосяного покрова (линька) на фоне потепления. Зоол журн. 2023;102(1):201-14.
8. Петров ЕА, Купчинский АБ. Влияние раннего разрушения ледяного покрова и высокого уровня воды на функционирование берегового лежбища байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.) на о. Долгом (оз. Байкал) по материалам 2020 г. Известия ТИНРО. 2023;203(1):163-78.
9. Попов СВ, Ильченко ОГ. Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе. М.: Московский орден Трудового Красного Знамени Зоологический парк; 1990.
10. Фиалков ВА, Бадардинов АА, Кузеванова ЕН, Егранов ВВ. Совершенствование метода дистанционного мониторинга за флорой и фауной ООПТ Байкальской природной территории. Вестник ИрГСХА. 2013;57(2):149-56.
11. Фиалков ВА, Бадардинов АА, Егранов ВВ, Мельников ЮИ. Байкал в режиме реального времени: технические решения и научно-просветительские задачи. В кн.: Русинёк ОТ, ред. Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН; 2014. С. 476-83.
12. Шимараев МН, Куимова ЛН, Синюкович ВН. Тенденции изменения абиотических условий в Байкале в современный период. В кн.: Русинёк ОТ, ред. Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН; 2014. С. 311-8.
2. Kupchinsky AB, Petrov EA, Ovdin ME. [First attempt at remote monitoring the Baikal seal's (*Pusa sibirica* Gm.) coastal rookery]. Biota i Sreda Prirodnikh Territoriy. 2021;(2):77-94. (In Russ.)
3. Kupchinsky AB, Ovdin ME, Petrov EA. [Anthropogenic impact on the Baikal seal (*Pusa sibirica* Gm.) during the coastal period of its life (based on materials as of 2022)]. Biosfera. 2023;15(3):56-60. (In Russ.)
4. Pastukhov VD. Baykal'skaya Nerpa: Biologicheskiye Osnovy Ratsionalnogo Ispolzovaniya i Okhrany Resursov. [Baikal Seal: Biological Basis for the Rational Use and Protection of Resources]. Novosibirsk: Nauka; 1993. (In Russ.)
5. Pastukhov VV, Fialkov VA. [Remote real-time monitoring on Ushkanii Islands of the lake Baykal as a modern method of studying Baykal seal (*Phoca sibirica* Gmelin)]. Baykalskiy zool zhurn. 2011;1(6):5-9. (In Russ.)
6. Petrov EA, Kupchinsky AB, Fialkov VA, Badardinov AA. [The importance of coastal rookeries in the life of the Baikal seal (*Pusa sibirica* Gmelin 1788 Pinnipedia). 1. Review]. Zoologicheskii Zhurn 2021;100(5):590-600. (In Russ.)
7. Petrov EA, Kupchinsky AB. [The main reason of Baikal seal (*Pusa sibirica* Gm.) coming to coastal rookeries is the extended change of hair coat (molt) against the background of warming]. Zoologicheskii Zhurn. 2023;102(1):201-14. (In Russ.)
8. Petrov EA, Kupchinsky AB. [The influence of early destruction of the ice cover and of the high levels of water on the functioning of the coastal rookery of the Baikal seal (*Pusa sibirica* Gm.) on the island Dolgov (the Lake Baikal) inferred from data obtained in 2020]. Izvestiya TINRO. 2023;203(1):163-78. (In Russ.)
9. Popov SV, Ilchenko OG. Metodicheskiiye Rekomendatsii po Etologicheskim Nabliudeniya za Mlekopitayuschimi v Nevole. [Methodological Recommendations for Ethological Observations of Mammals in Captivity]. Moscow: Moskovskiy Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Zoologicheskiiy Park; 1990. (In Russ.)
10. Fialkov VA, Badardinov AA, Kuzevanova EN, Yegranov VV. [Improving the method of remote monitoring of the flora and fauna of the protected areas of the Baikal natural territory]. Vestnik IRGSHA. 2013;57(2):149-55. (In Russ.)
11. Fialkov VA, Badardinov AA, Yegranov VV, Melnikov YuI. [Baikal in real time: technical solutions and scientific and educational tasks]. In: Rusinok OT, ed. Razvitiye Zhizni v Protsesse Abioticheskikh Izmeneniy na Zemle. Irkutsk: Institut Geografii im. V.B. Sochavy SO RAN; 2014. P. 476-83. (In Russ.)

Общий список литературы/References

1. Ivanov TM. [Baikal seal, its biology and trade]. Izvestiya Biologo-Geograficheskogo NII pri Vo-

ТРЕНДЫ ПРОДУКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ В БЕЛОРУССКОМ ПОЛЕСЬЕ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

А.П. Гусев

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Эл. почта: andi_gusev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.12.2023; принята к печати 30.01.2024

Цель работы – анализ многолетней динамики нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) природных и антропогенных экосистем как реакции на климатические изменения. Район исследований – Белорусское Полесье. Используются данные спектрорадиометрии изображения среднего разрешения (MODIS) спутника Тера (продукт MOD13Q1). Временной интервал – 2000–2022 годы. Объекты исследований: ненарушенные лесные экосистемы; нарушенные лесные экосистемы; болотные экосистемы; пахотные экосистемы. Как индикатор продуктивности использован NDVI. Проведен анализ и оценка статистической значимости трендов NDVI в природных и антропогенных экосистемах. Установлено положительное влияние роста теплообеспеченности и содержания CO₂ в атмосфере на NDVI природных лесных и болотных экосистем. В нарушенных лесных и пахотных экосистемах положительное влияние компенсируется негативным эффектом – снижением влагообеспеченности.

Ключевые слова: Белорусское Полесье, экосистемы, NDVI; тренд; MODIS; изменения климата.

TRENDS IN THE PRODUCTIVITY OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC ECOSYSTEMS IN BELARUSIAN POLESYE UNDER CLIMATIC CHANGES

A.P. Gusev

Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

E-mail: andi_gusev@mail.ru

The purpose of the work is to analyze the long-term dynamics of NDVI of natural and anthropogenic ecosystems as a response to climate change. The research area is Belarusian Polesye. Survey data from the MODIS sensor of the Terra satellite (product MOD13Q1) was used. Time interval – 2000–2022. Objects of research: undisturbed forest ecosystems; disturbed forest ecosystems; wetland ecosystems; arable ecosystems. NDVI was used as an indicator of productivity. An analysis and assessment of the statistical significance of NDVI trends in natural and anthropogenic ecosystems was carried out. The positive influence of increased heat supply and CO₂ content in the atmosphere on the NDVI of natural forest and swamp ecosystems has been established. In disturbed forest and arable ecosystems, the positive effect is compensated by a negative effect – a decrease in moisture supply.

Keywords: Belarusian Polesie, ecosystems, NDVI; trend; MODIS; climate change.

Введение

Климатические изменения – одна из наиболее злободневных и обсуждаемых экологических проблем современности, которой уделяется значительное количество разнообразных исследований, охватывающих в основном глобальный и региональный уровни. Однако взаимосвязь между изменениями на биосферном уровне и динамикой состояния локальных экосистем изучены слабо, неясны механизмы ответных реакций локальных экосистем на глобальные сигналы [7]. Неоднозначность взаимодействий в системе «региональный климат – локальная экосистема» приводит к ошибкам экологического прогнозирования. Сложно отделить климатогенные

изменения от влияния других факторов – как природных, так социально-экономических и техногенных.

Предполагается, что наиболее чувствительны к изменениям климата ландшафты, находящиеся на границах природных зон (зональные экотоны). Здесь возникают острые экологические проблемы, вызванные развитием негативных экологических процессов, – обезлесивание, опустынивание, таяние вечной мерзлоты и т. д. [3–5, 7]. Многие из указанных процессов обуславливают изменения спектрально-отражательных свойств земной поверхности, что позволяет использовать для их мониторинга методы дистанционного зондирования Земли [12]. Важной и актуальной

задачей является разработка системы экологических индикаторов на базе спутниковых съемок для прогноза неблагоприятных последствий климатических изменений.

Одним из важнейших индикаторов состояния экосистемы служит нормализованный дифференцированный вегетационный индекс (normalized difference vegetation index, NDVI) [9, 12]. NDVI определяют по соотношению коэффициентов отражения в красном и ближнем инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра, которые получают по данным космической многозональной съемки.

В разных природно-географических условиях доказана корреляция между NDVI и первичной продукцией [9, 12]. Имеется тесная взаимосвязь NDVI с наземной фитомассой [12], подтверждаемая для разных регионов мира. Высокая степень корреляции между NDVI и чистой первичной продукцией обуславливает использование данного индекса как индикатора продуктивности и тесно связанной с последней – устойчивости экосистем [1, 2, 7, 12]. NDVI является важным индикатором климатогенных реакций ландшафтов, которые отражают сдвиги в тесно взаимосвязанных друг с другом биологическом круговороте и влагообороте [7]. Многолетние космические наблюдения показывают, что в последние десятилетия в разных природных зонах происходит рост NDVI или «озеленение» ландшафтов, которое не имеет простого и однозначного объяснения [5, 10, 11].

Цель работы – анализ многолетней динамики NDVI природных и антропогенных экосистем как реакции на глобальные изменения в Белорусском Полесье. Решаемые задачи: изучение изменений климата Белорусского Полесья в 2000–2022 годах; анализ трендов NDVI в ненарушенных и нарушенных лесных, болотных и пахотных экосистемах; изучение корреляции между климатическими показателями и NDVI; выяснение вероятных причин выявленных изменений NDVI. Предполагается ответить на два вопроса: 1) есть ли статистически значимая взаимосвязь между изменениями NDVI локальных экосистем и климатических показателей? 2) каковы отличия в динамике NDVI природных и антропогенных экосистем?

Материалы и методы исследования

Район исследований находится на территории Беларуси и представляет собой восточную часть Полесской ландшафтной провинции подзоны полесских (широколиственно-лесных) ландшафтов. По геоботаническому районированию территория относится к Полесско-Приднепровскому округу подзоны широколиственно-сосновых лесов. Природные экосистемы представлены сосновыми, березовыми, осиновыми, черноольховыми, широколиственными и смешанными лесами, верховыми, переходными и низинными болотами. Значительная

часть территории (более 50% площади) – антропогенные экосистемы (пашни, пастбища и сенокосы, водохранилища и т. д.).

Объектами исследований являлись:

- ненарушенные лесные экосистемы (сосновые, широколиственные и мелколиственные леса без видимых следов повреждений);
- нарушенные лесные экосистемы (сосновые, широколиственные и мелколиственные леса, поврежденные пожарами, рубками, техногенным подтоплением, токсичными выбросами);
- болотные экосистемы;
- пахотные экосистемы.

Ненарушенные лесные экосистемы представляют 18 тестовых участков (общая площадь 190,4 км²), нарушенные лесные экосистемы – 8 тестовых участков (33 км²), болотные экосистемы – 5 тестовых участков (231,7 км²), пахотные экосистемы – 15 тестовых участков (208,3 км²).

В работе использован продукт MOD13Q1 (обработанные результаты спектрорадиометрии изображения среднего разрешения (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) со спутника Terra), который представляет собой растр максимальных значений NDVI за 16 суток. Пространственное разрешение 250 м. Для исключения влияния сезонных колебаний NDVI в работе использовались только летние значения.

Величина NDVI измеряется в относительных единицах от –1,0 до +1,0. Вначале для каждого тестового участка определялись средние значения NDVI за летний сезон каждого года, после чего на основе всех тестовых участков средние значения рассчитывались для соответствующего объекта в целом.

Уточнение границ локальных экосистем и их типа проводилось по космическим снимкам спутника Landsat 8. Атмосферная коррекция, привязка, дешифрирование космических снимков выполнялись в геоинформационной системе QGIS 3.6.

Показатели климата (средняя температура лета, летнее количество осадков, средняя температура года, годовое количество осадков) определялись на основе данных 8 метеостанций, расположенных в регионе. Для корреляционного анализа показателей климата с колебаниями NDVI использовались усредненные данные по всем имеющимся метеостанциям региона. Данные по динамике CO₂ были взяты с сайта Global Monitoring Laboratory (<https://gml.noaa.gov/ccgg/>).

Изучение изменений климатических показателей и NDVI проводили с помощью статистических методов: оценка точности подбора уравнения тренда – по коэффициенту детерминации (R²); оценка статистической значимости коэффициента детерминации и уравнения тренда – по критериям Стьюдента и Фишера; оценки связи между изменениями NDVI и климатическими

показателями – непараметрический корреляционный анализ (коэффициент ранговой корреляции Спирмена).

Результаты и их обсуждение

Полесье является частью Беларуси, где потепление климата и его последствия выражены наиболее сильно. Здесь за последние 20–25 лет по сравнению с периодом 1881–1990 годов средние температуры января и февраля выросли на 2,50 °С, марта – на 2,0 °С, июля и августа – на 1,3–1,4 °С. Годовая сумма активных температур (выше 10 °С) практически на всей территории Белорусского Полесья превысила 2600 градусов, в связи с чем была выделена новая агроклиматическая зона [4, 8].

Проведенный нами анализ показал, что на метеостанциях региона (Гомель, Василевичи, Мозырь, Жлобин, Житковичи, Брагин, Октябрь) зафиксированы достоверные положительные тренды температур, но отсутствуют значимые изменения осадков (табл. 1). Среднегодовая температура в Полесье изменялась от 7,1 в 2003 году до 9,7 °С в 2020 году (среднее значение – 8,1 °С). Коэффициент линейного тренда составил 0,057 °С в год. Средняя температура лета колебалась от 17,6 в 2000 году до 21,9 °С в 2010 году (среднее значение – 19,3 °С). Коэффициент линейного тренда – 0,08 °С в год. Годовое количество осадков изменялось от 519 мм в 2015 году до 847 мм в 2012 году (средняя величина – 653 мм/год). Летнее количество осадков в ландшафтах Полесья колебалось от 134 мм в 2015-м до 332 мм в 2009 году (средняя величина – 225 мм). Уравнения трендов для осадков статистически незначимы (табл. 1).

В течение рассматриваемого временного интервала в ненарушенных лесных экосистемах наблюдался статистически значимый рост NDVI (коэффициент линейного тренда составил 0,0021 в год, при коэффи-

циенте детерминации $R^2 = 0,68$). В нарушенных лесных экосистемах величина NDVI колебалась без выраженной закономерности (табл. 1, рис. 1). В болотных экосистемах имел место рост значений NDVI (0,0029 в год, $R^2 = 0,40$), в пахотных экосистемах – снижение NDVI, однако статистически недостоверное (рис. 4).

В табл. 2 приводятся многолетние изменения средних значений, среднеквадратичной ошибки, минимальных и максимальных значений NDVI по изучаемым объектам.

Каковы же вероятные причины выявленных изменений NDVI и соответственно продуктивности экосистем? Можно предположить, что основными факторами, вызывающими наблюдаемые тренды NDVI, могут являться:

- 1) изменение структуры землепользования;
- 2) климатические изменения (повышение температуры);
- 3) увеличение содержания CO_2 в атмосфере, способствующее фотосинтезу («fertilization effect») [10].

Влияние изменения структуры землепользования были исключены подбором тестовых участков (критерий – отсутствие существенных изменений структуры земель в 2000–2022 годах). Для выяснения влияния на NDVI изменений климатических показателей и содержания CO_2 был выполнен корреляционный анализ (табл. 3).

В ненарушенных лесных экосистемах NDVI положительно коррелирует со среднегодовой и летней температурами, а наиболее тесная связь наблюдается с содержанием CO_2 . Потепление положительно сказывается на NDVI лесов за счет увеличения вегетационного периода, снижения риска повреждения деревьев морозами и снегопадами зимой. Следует отметить также положительное влияние роста концентрации CO_2 в атмосфере на фотосинтез ненарушенной лесной растительности Полесья.

Табл. 1

Тренды климатических показателей и NDVI (2000–2022 годы)

Показатель	Уравнение тренда	Коэффициент детерминации R^2
<i>Климат</i>		
Среднегодовая температура, °С	$T_g = 0,057 \cdot t + 7,46; p < 0,05$	0,31
Годовое количество осадков, мм	$O_g = 0,27 \cdot t + 649,5; p > 0,05$	0,0004
Средняя температура лета, °С	$T_l = 0,08 \cdot t + 18,31; p < 0,05$	0,30
Летнее количество осадков, мм	$O_l = 1,70 \cdot t + 245,73; p > 0,05$	0,05
<i>NDVI</i>		
Ненарушенные лесные экосистемы	$NDVI = 0,0021 \cdot t + 0,797; p < 0,05$	0,68
Нарушенные лесные экосистемы	$NDVI = 0,0006 \cdot t + 0,702; p > 0,05$	0,05
Болотные экосистемы	$NDVI = 0,0029 \cdot t + 0,6619; p < 0,05$	0,40
Пахотные экосистемы	$NDVI = -$	0,001

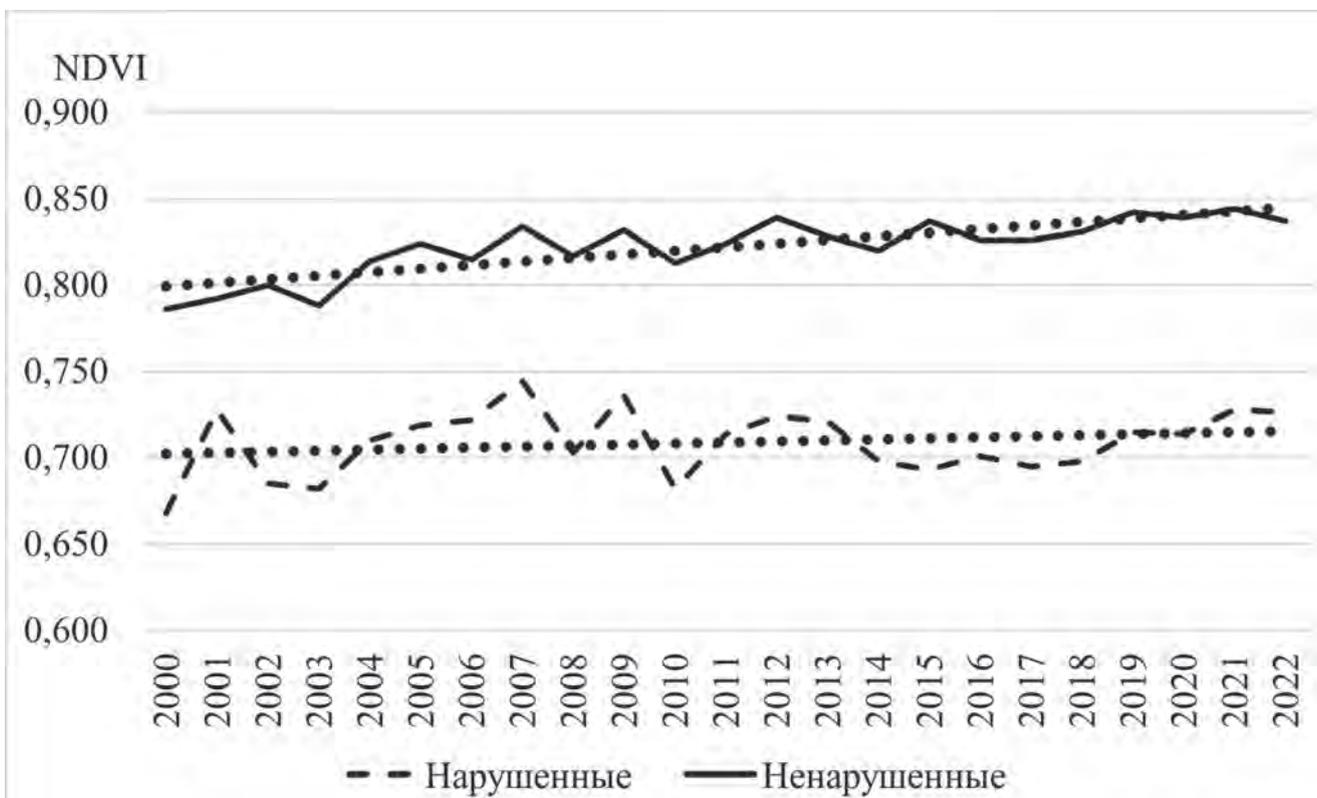


Рис. 1. Многолетние изменения средних значений NDVI в лесных экосистемах (точками показаны линии тренда)

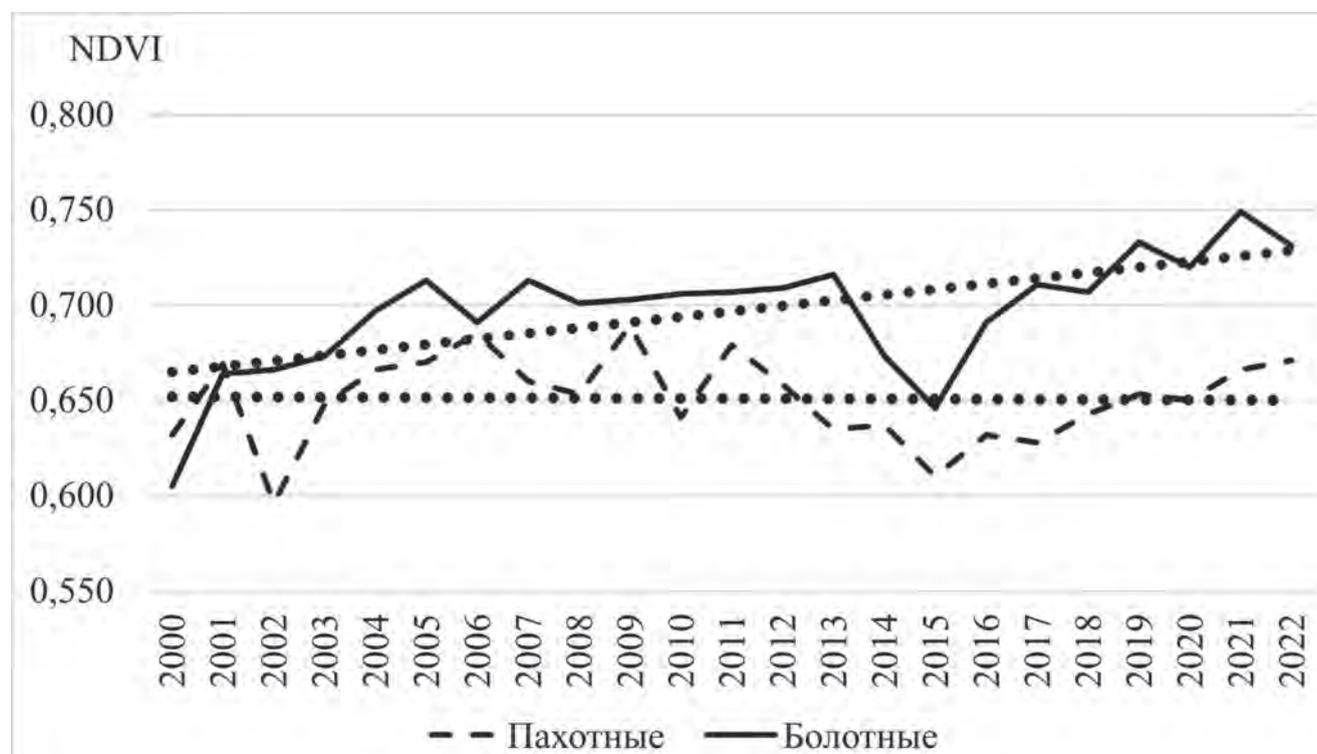


Рис. 2. Многолетние изменения средних значений NDVI в болотных и пахотных экосистемах (точками показаны линии тренда)

Характеристика многолетних изменений NDVI в различных типах экосистем

Год	Экосистемы			
	Лесные ненарушенные	Лесные нарушенные	Болотные	Пахотные
2000	0,786 ± 0,011* 0,699–0,867**	0,688 ± 0,017 0,594–0,718	0,605 ± 0,023 0,558–0,635	0,632 ± 0,015 0,504–0,702
2001	0,792 ± 0,013 0,685–0,866	0,728 ± 0,012 0,661–0,769	0,664 ± 0,019 0,632–0,699	0,668 ± 0,015 0,579–0,765
2002	0,800 ± 0,010 0,726–0,860	0,685 ± 0,026 0,588–0,770	0,666 ± 0,011 0,651–0,687	0,596 ± 0,019 0,490–0,730
2003	0,788 ± 0,011 0,695–0,846	0,682 ± 0,023 0,603–0,764	0,673 ± 0,017 0,640–0,699	0,648 ± 0,15 0,543–0,746
2004	0,814 ± 0,011 0,725–0,863	0,710 ± 0,022 0,635–0,789	0,697 ± 0,011 0,678–0,718	0,666 ± 0,017 0,533–0,768
2005	0,824 ± 0,011 0,730–0,877	0,719 ± 0,017 0,649–0,789	0,713 ± 0,015 0,686–0,740	0,670 ± 0,016 0,557–0,779
2006	0,815 ± 0,011 0,704–0,881	0,722 ± 0,019 0,659–0,788	0,691 ± 0,021 0,654–0,728	0,685 ± 0,014 0,592–0,764
2007	0,834 ± 0,011 0,754–0,885	0,744 ± 0,020 0,648–0,811	0,713 ± 0,015 0,684–0,735	0,660 ± 0,017 0,542–0,776
2008	0,817 ± 0,010 0,727–0,863	0,703 ± 0,016 0,641–0,771	0,701 ± 0,015 0,674–0,724	0,653 ± 0,016 0,517–0,739
2009	0,832 ± 0,010 0,757–0,879	0,736 ± 0,015 0,767–0,792	0,703 ± 0,007 0,690–0,712	0,689 ± 0,015 0,550–0,767
2010	0,813 ± 0,013 0,712–0,877	0,682 ± 0,029 0,518–0,769	0,706 ± 0,020 0,669–0,740	0,641 ± 0,019 0,483–0,736
2011	0,824 ± 0,010 0,736–0,866	0,714 ± 0,025 0,577–0,789	0,707 ± 0,026 0,659–0,751	0,678 ± 0,010 0,607–0,735
2012	0,839 ± 0,009 0,766–0,890	0,724 ± 0,027 0,568–0,795	0,709 ± 0,030 0,650–0,751	0,658 ± 0,015 0,537–0,746
2013	0,827 ± 0,007 0,768–0,873	0,721 ± 0,021 0,628–0,786	0,716 ± 0,030 0,642–0,775	0,635 ± 0,016 0,522–0,720
2014	0,820 ± 0,008 0,762–0,860	0,698 ± 0,028 0,567–0,786	0,673 ± 0,021 0,632–0,696	0,637 ± 0,020 0,487–0,755
2015	0,837 ± 0,011 0,730–0,893	0,693 ± 0,028 0,592–0,809	0,646 ± 0,003 0,640–0,650	0,610 ± 0,025 0,368–0,731
2016	0,826 ± 0,009 0,760–0,869	0,701 ± 0,025 0,578–0,797	0,691 ± 0,005 0,684–0,702	0,632 ± 0,017 0,515–0,718
2017	0,826 ± 0,010 0,750–0,878	0,695 ± 0,024 0,591–0,790	0,711 ± 0,011 0,700–0,733	0,628 ± 0,018 0,521–0,758
2018	0,831 ± 0,009 0,739–0,877	0,698 ± 0,027 0,565–0,785	0,707 ± 0,012 0,694–0,731	0,643 ± 0,017 0,515–0,735
2019	0,842 ± 0,010 0,764–0,901	0,715 ± 0,024 0,594–0,777	0,733 ± 0,025 0,686–0,773	0,652 ± 0,018 0,527–0,768
2020	0,839 ± 0,010 0,759–0,895	0,714 ± 0,023 0,596–0,787	0,720 ± 0,014 0,699–0,748	0,650 ± 0,017 0,564–0,770
2021	0,844 ± 0,012 0,748–0,900	0,728 ± 0,022 0,626–0,814	0,749 ± 0,018 0,727–0,786	0,666 ± 0,015 0,595–0,759
2022	0,837 ± 0,012 0,735–0,901	0,726 ± 0,022 0,613–0,793	0,731 ± 0,012 0,713–0,755	0,671 ± 0,015 0,523–0,742

* – среднее и ошибка среднего; ** – минимальное и максимальное значения.

Корреляция NDVI экосистем с климатическими показателями (подчеркнуты статистически достоверные значения коэффициентов корреляции Спирмена)

Экосистемы	Климатические показатели				Содержание CO ₂ , ppm
	Среднегодовая температура, °С	Годовое количество осадков, мм	Средняя температура лета, °С	Летнее количество осадков, мм	
Лесные ненарушенные	<u>0,43</u>	0,03	<u>0,47</u>	–	<u>0,82</u>
Лесные нарушенные	–0,09	0,33	0,03	0,40	0,17
Болотные	0,23	0,13	0,33	–	<u>0,65</u>
Пахотные	–0,39	–0,38	–0,20	<u>0,57</u>	–0,07

В нарушенных лесных экосистемах статистически достоверная корреляция с каким-либо из рассматриваемых показателей отсутствует. Однако наибольшую величину имеют коэффициенты корреляции с годовыми и летними осадками. Вероятно, колебания NDVI в нарушенных лесах обусловлены в первую очередь динамикой нарушающих факторов, но чувствительны к осадкам.

В болотных экосистемах NDVI не имеет статистически достоверной корреляции с климатическими показателями, но положительно коррелирует с содержанием CO₂ (коэффициент корреляции +0,65 при $p < 0,001$).

В пахотных экосистемах колебания NDVI достоверно коррелируют только с величиной летних осадков (коэффициент корреляции +0,57 при $p < 0,005$). С другими климатическими показателями значения коэффициентов корреляции недостоверны. Вероятно, что именно в пахотных экосистемах в наибольшей степени сказываются отрицательные последствия изменения климата: увеличение частоты экстремальных и неблагоприятных метеорологических условий, увеличение частоты и интенсивности засух, рост пожарной опасности в прилегающих к полям лесах и на торфяниках, дефицит воды в вегетационный период, снижение уровня грунтовых вод, рост экстремальных осадков, появление новых вредителей и болезней растений и т. д. [3, 4, 6, 8]. В пахотных экосистемах положительный эффект увеличения вегетационного сезона ком-

пенсируется негативными изменениями, связанными с увеличением засушливости климата в регионе (рост температур при незначительных колебаниях количества осадков).

Заключение

Таким образом, на локальном уровне мы наблюдаем неоднородную реакцию различных экосистем на действие одного и того же фактора. Из полученных результатов видно, что положительное влияние роста теплообеспеченности и содержания CO₂ в атмосфере на продуктивность (NDVI) имеет место только в природных экосистемах – ненарушенных лесных и болотных. В нарушенных лесных и пахотных экосистемах положительное влияние роста содержания CO₂, вероятно, не проявляется, поскольку более значительное воздействие оказывает негативный эффект, связанный с уменьшением влагообеспеченности. Продуктивность пахотных экосистем в наибольшей степени чувствительна к количеству летних осадков.

Установленные закономерности следует учитывать при прогнозировании климатогенных реакций экосистем и ландшафтов, при разработке адаптационных мероприятий [3].

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Х23КИ-022).

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Гусев А.П. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции). Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2020;(1):101-7. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2020.1/2667>.
2. Гусев А.П. NDVI как индикатор климатогенных реакций геосистем (на примере юго-востока Беларуси). Региональные геосистемы. 2022;46(2):200-9. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-2-200-209.
3. Гусев А.П. Оценка риска негативных климатогенных реакций полесских ландшафтов. Российский журнал прикладной экологии. 2022;(4):13-9. DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.13.19>.
4. Данилович ИС, Мельник ВИ, Гейер Б. Современные изменения климата Белорусского По-

лесья: причина, следствия, прогнозы. Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2020;(1):3-13. DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-1-3-13>.

5. Дронин НМ, Тельнова НО, Калуцкова НН. Анализ многолетних трендов продуктивности агроландшафтов юга Восточной Европы по материалам дистанционного зондирования. Геополитика и геоэкодинамика регионов. 2014;10(1):529-38.
6. Лысенко СА, Логинов ВФ, Бондаренко ЮА. Взаимосвязь современных изменений испарения и количества осадков в южных регионах. Природопользование. 2020;(1):20-9.
7. Коломыйц ЭГ. Лесные экосистемы Волжского бассейна в условиях глобального потепления (локальный экологический прогноз). Экология. 2009;(1):9-21.
8. Мельник ВИ, Данилович ИС, Кулешова ИЮ, Комаровская ЕВ, Мельчакова НВ. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период 1989–2015 гг. Природные ресурсы. 2018;(2):88-101.
4. Danilovich IS, Melnik VI, Geyer B. [Modern climate changes in Belarusian Polesye: causes, consequences, forecasts]. Zhurnal Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta Geografiya Geologiya. 2020;(1):3-13. DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-1-3-13>. (In Russ.)
5. Dronin NM, Telnova NO, Kalutskova NN. [Analysis of long-term trends in the productivity of agricultural landscapes in the south of Eastern Europe based on remote sensing materials]. Geopolitika i Geoekodinamika Regionov. 2014;(1):529-38. (In Russ.)
6. Lysenko SA, Loginov VF, Bondarenko YA. [The relationship between modern changes in evaporation and precipitation in the southern regions of Belarus]. Prirodopolzovaniye. 2020;(1):20-9. (In Russ.)
7. Kolomyts EG. [Forest ecosystems of the Volga basin under conditions of global warming (local environmental forecast)]. Ekologiya. 2009;(1):9-21. (In Russ.)
8. Melnik VI, Danilovich IS, Kuleshova IY, Komarovskaya EV, Melchakova NV. [Assessment of agroclimatic resources of the territory of Belarus for the period 1989–2015]. Prirodnyye resursy. 2018;(2):88-101. (In Russ.)

Общий список литературы/References

1. Gusev AP. [Changes in NDVI as an indicator of the dynamics of the ecological state of landscapes (using the example of the eastern part of Polesne province)]. Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta Ser Geografiya Geoekologiya 2020;(1):101-7. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2020.1/2667>. (In Russ.)
2. Gusev AP. [NDVI as an indicator of climatogenic reactions of geosystems (using the example of south-east Belarus)]. Regionalnye Geosistemy. 2022;(2):200-9. DOI: [10.52575/2712-7443-2022-46-2-200-209](https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-200-209). (In Russ.)
3. Gusev AP. [Assessment of the risk of negative climatogenic reactions of Polesye landscapes]. Rossiyskiy Zhurnal Prikladnoy Ekologii. 2022;(4):13-9. DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.13.19>. (In Russ.)
9. Box EO, Holben BN, Kalb V. Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO₂ flux. Vegetatio. 1989;80:71-89.
10. Zhu Z, Piao S, Myneni RB et al. Greening of the Earth and its drivers. Nat Clim Change. 2016;6:791-5. DOI: [10.1038/NCLIMATE3004](https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3004).
11. Gusev AP. Impact of climate change on ecosystem productivity of the Belarusian Polesia according to remote data. Contemp Probl Ecol. 2022;15(4):345-52. DOI: [10.1134/S1995425522040060](https://doi.org/10.1134/S1995425522040060).
12. Yengoh GT, Dent D, Olsson L, Tengberg AE, Tucker CJ. The Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales: A Review of the Current Status, Future Trends, and Practical Considerations. Lund University Centre for Sustainability Studies LUCSUS; 2014.

ФЛОРА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «КРАСНЫЙ МАР» (ШЕМЫШЕЙСКИЙ РАЙОН, ПЕНЗЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Л.А. Новикова¹, В.М. Васюков^{2*}, Т.В. Горбушина³,
М.С. Кабанова⁴

¹ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия; ² Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия; ³ Государственный природный заповедник «Приволжская лесостепь», Пенза, Россия; ⁴ Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города Москвы «Школа № 285 имени В.А. Молодцова», Москва, Россия

* Эл. почта: vvasjukov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 12.01.2024; принята к печати 14.03.2024

Изучены флора и растительность памятника природы «Красный мар» в Шемышейском районе Пензенской области. Работа проводилась в 2021 году путем заложения двух перпендикулярных геоботанических профилей (50 пробных площадей). Разработана классификация растительности на доминантных принципах. В исследованной флоре отмечено 105 видов, из которых 1 вид охраняется на федеральном уровне и 8 – на региональном. В настоящее время на изученном участке преобладает травяная растительность, которая представлена преимущественно луговыми степями. Кроме этого, отмечается кустарниковая растительность (*спирейники* – *Spiraea crenata* и *миндальники* – *Amygdalus nana*). В условиях заповедного режима при отсутствии антропогенного влияния за 20 последних лет визуально отмечается значительный процесс сивлатизации (распространение кустарников и деревьев). Это приводит к вытеснению степной травяной растительности.

Ключевые слова: лесостепная зона, Приволжская возвышенность, луговые и кустарниковые степи, фитогенный мониторинг, памятник природы, Пензенская область.

FLORA AND VEGETATION OF THE NATURE MONUMENT “KRASNY MAR” (SHEMYSHEYSKY DISTRICT, PENZA REGION)

L.A. Novikova¹, V.M. Vasjukov^{2*}, T.V. Gorbushina³, M.S. Kabanova⁴

¹ Penza State University, Penza, Russia; ² Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia; ³ State Nature Reserve “Volga Forest-Steppe”, Penza, Russia; ⁴ School No. 285 named after V.A. Molodtsova, Moscow, Russia

* E-mail: vvasjukov@yandex.ru

The flora and vegetation of the nature reserve “Krasny Mar” located in Shemysheysky district of Penza region have been studied. The work was carried out in 2021 by laying two perpendicular geobotanical profiles (50 test areas). A classification of vegetation based on dominant principles has been developed, 105 species have been noted in the flora under study, of which one species is protected at the federal level and eight, at the regional level. Currently, the studied area is dominated by grassy vegetation mainly represented by meadow steppes. In addition, shrubby vegetation is noted (*spiracles* – *Spiraea crenata* and *almonds* – *Amygdalus nana*). In the conditions of the protected regime providing for the absence of anthropogenic influences, a significant sylvatization (the spread of shrubs and trees) has been visually noted over the past 20 years. This leads to the displacement of steppe grass vegetation.

Keywords: forest-steppe zone, Volga Upland, meadow and shrub steppes, phytogenic monitoring, natural monument, Penza region.

Введение

Изучен интересный образец каменисто-песчаных степей Приволжской возвышенности – памятник природы «Красный мар» в Шемышейском районе Пензенской области.

Шемышейский район расположен на юго-востоке Пензенской области на Приволжской возвышенности в пределах лесостепной зоны. Зональными типами растительности являются широколиственные леса и луговые степи [20–24]. Зональные луговые степи довольно хо-

рошо изучены [10–16, 26, 27]. Кроме этого, выделяются различные эдафические варианты степей: кальцефитные, псаммофитные и галофитные [15]. В лесостепной зоне Приволжской возвышенности также отмечаются сообщества с участием кустарников [1, 8, 9, 17, 18].

В изучении нуждаются кустарниковые степи и заросли степных кустарников, которые особенно хорошо представлены на памятнике природы «Красный мар». До сих пор в литературе дискутируются принципы их выделения.

В 1999 году «Красный мар» получил статус регионального памятника природы ботанического профиля (Постановление Законодательного собрания Пензенской области № 357-16/23С от 26 мая 1999 года). Площадь – 34 га. Ведомственная принадлежность – Администрация Синодского сельсовета. Отметим, что этот уникальный природный объект упоминается в произведении Ф.В. Гладкова «Повесть о детстве» [3]. По В.И. Далю [4] термин «красный мар» трактуется как «красный холм». Далее изучением этого объекта занимались многие исследователи [2, 10, 11, 15, 19].

Основной целью нашей работы является изучить флору и растительность ценного ботанического объекта памятника природы «Красный мар» в Шемышейском районе Пензенской области с начала создания на ее территории ООПТ (за последние 20 лет).

Объект и методы исследования

Исследуемый памятник природы «Красный мар» располагается вблизи с. Синодское Шемышейского района Пензенской области (рис. 1, 2). Общая площадь – 34 га. Ширина степного участка – около 300 м, длина – 450 м.

С целью изучения растительного покрова в 2021 году на участке были заложены два перпендикулярных геоботанических профиля разной протяженности: один (длинный) располагался с севера на юг (30 описаний), а другой, более короткий – с запада на восток (20 описаний). Всего было сделано 50 геоботанических описаний.

Первый длинный профиль (север-юг) пересекал холм в самом широком месте и захватил крутой склон южной экспозиции, вершину холма и пологий склон северной экспозиции. Второй короткий профиль (запад-восток) проходил по склону восточной экспозиции, вершине холма и сильно залесенному склону западной экспозиции (рис. 3).

Описание пробных площадей (4 м²) проводилось по традиционной методике [5, 6]. На каждой площадке указывалось общее проективное покрытие (ОПП), проективное покрытие отдельных видов и их групп.

Далее рассчитывалось соотношение фитоценологических, экологических по отношению к увлажнению и



Рис. 1. Общий вид памятника природы «Красный мар»



Рис. 2. Расположение памятника природы «Красный мар» в Пензенской области



Рис. 3. Расположение геоботанических профилей на памятнике природы «Красный мар» (профиль № 1: площади № 1–30; профиль № 2: площадки № 31–50)

хозяйственно-биологических групп. Разработана эколого-фитоценотическая классификация растительности на доминантном принципе.

Латинские названия видов сосудистых растений приводятся согласно International Plant Names Index (<https://www.ipni.org/>) [25].

Результаты исследований

Флора памятника природы «Красный мар» включает 105 видов из 83 родов и 29 семейств, которые относятся к двум отделам голосеменные – Pinophyta (4,0%) и покрытосеменные – Magnoliophyta (96,0%).

Во флоре памятника природы «Красный мар» отмечается 8 редких видов, из которых 1 вид занесен в Перечень Красной книги Российской Федерации¹: *Iris aphylla* L. (ирис безлистный) и 8 видов – в Красную книгу Пензенской области [7]: *Allium flavescens* Besser (лук желтеющий), *Amygdalus nana* L. (миндаль низкий), *Galatella angustissima* (Tausch) Novopokr. (солонечник узколистный), *Iris aphylla* L. (ирис безлист-

¹ Приказ Минприроды РФ от 23.05.2023 № 320 «Об утверждении перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации», зарегистрировано в Минюсте РФ 21.07.2023 № 74362.

Табл. 1

Геоботаническая характеристика растительности памятника природы «Красный мар»

Номера ассоциаций	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Число описаний	1	3	1	2	3	6	8	1	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	2
Число видов	15	12	17	14	15	16	15	11	11	11	14	10	5	8	10	11	9	7	11	14	7	11	4	10	11
Общее проективное покрытие (ОПП)	70,0	70,4	65,5	58,1	81,5	78,0	79,2	83,0	60,0	70,0	89,0	84,8	100,0	99,3	95,0	92,0	85,0	99,0	92,0	100,0	100,0	93,5	100,0	78,0	95,0
Фитоценологические группы:																									
степные	65,0	64,8	46,5	36,3	66,5	64,0	68,7	78,0	17,0	39,0	40,5	39,8	47,0	95,7	80,0	77,0	56,5	91,5	87,0	94,0	100,0	72,9	90,0	56,0	62,0
луговые	5,0	5,6	19,0	21,8	15,0	14,0	10,5	5,0	43,0	31,0	48,5	45,0	53,0	3,7	15,0	15,0	28,5	7,5	5,0	6,0	0,0	20,6	10,0	22,0	33,0
Экологические группы:																									
ксерофиты	36,0	37,6	3,5	1,0	0,5	7,5	6,9	30,0	6,0	9,0	3,0	5,3	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	1,5	3,0	0,6	0,0	4,0	2,5
мезоксерофиты	29,0	27,2	43,0	35,3	66,0	56,5	61,8	48,0	11,0	30,0	37,5	34,5	47,0	93,3	80,0	77,0	56,5	91,5	82,0	92,5	97,0	72,3	90,0	52,0	59,5
ксеромезофиты	4,0	3,3	16,5	16,5	14,5	11,0	8,6	5,0	42,0	31,0	47,5	44,0	8,0	2,0	14,0	14,5	28,0	0,5	5,0	6,0	0,0	18,8	10,0	21,0	26,8
мезофиты	1,0	2,3	2,5	5,3	0,5	3,0	1,9	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	45,0	1,7	1,0	0,5	0,5	7,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	1,0	6,2
Биологические группы:																									
деревья и кустарники	10,0	11,0	1,0	0,0	23,5	18,5	16,9	20,0	0,0	20,0	30,0	28,3	40,0	88,3	70,0	70,0	50,0	90,0	60,0	80,0	80,0	70,0	90,0	50,0	55,0
злаки и осоки	40,0	43,0	40,0	35,3	42,5	37,5	40,9	26,0	40,0	40,0	35,0	39,2	50,0	3,7	10,0	10,0	20,0	6,0	10,0	12,0	5,0	15,6	4,0	22,0	30,0
бобовые	0,0	0,7	0,0	3,0	2,0	0,5	1,3	5,0	6,0	0,5	2,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
разнотравье	20,0	16,0	24,5	19,8	13,5	21,5	20,1	32,0	14,0	9,5	22,0	16,5	10,0	7,3	15,0	12,0	15,0	3,0	22,0	7,0	15,0	7,9	6,0	6,0	9,0

Ассоциации: **псаммофитные степи**: 1 – миндально-разнотравно-тырсовая; 2 – раkitниково-разнотравно-типчаковая; **луговые степи**: 3 – перистоковыльная; 4 – разнотравно-берегово-костречовая; 5 – раkitниково-разнотравно-узколистноковыльная; 6 – раkitниково-разнотравно-перистоковыльная; 7 – раkitниково-разнотравно-береговокостречовая; 8 – раkitниково-типчаково-разнотравная; **остепенные луги**: 9 – разнотравно-наземновейниковая; 10 – миндально-разнотравно-безостокостречовая; 11 – раkitниково-разнотравно-наземновейниковая; 12 – раkitниково-разнотравно-безостокостречовая; 13 – раkitниково-разнотравно-ползучепырейная; **кустарники**: 14 – миндально-спирейник редкотравный; 15 – раkitниково-миндально-спирейник редкотравный; 16 – раkitниково-спирейник редкотравный; 17 – раkitниково-спирейник безостокостречовый; 18 – раkitниково-спирейник ползучепырейный; 19 – раkitниково-спирейник безлистнокасаковый; 20 – спирейно-миндальный береговокостречовый; 21 – спирейно-миндальный равниннополюнный; 22 – спирейно-миндальный равниннополюнный; 23 – раkitниково-миндальный редкотравный; 24 – раkitниково-миндальный редкотравный; 25 – раkitниково-миндальный редкотравный.

ный), *Melica transsylvanica* Schur (перловник трансильванский), *Spiraea crenata* L. (спирея городчатая), *Stipa pennata* L. (ковыль перистый), *Stipa tirsia* Steven (ковыль узколистый).

Геоботаническая характеристика изученного участка включает травяную (64,0% площади участка ООПТ) и кустарниковую (36,0%) растительность (табл. 1). В том случае, если участие кустарников в сообществах не превышало 50%, выделялись кустарниковые луговые степи или кустарниковые остепненные луга, если же превышало 50% – то лесостепные кустарники.

Травяная растительность на участке представлена преимущественно степями (50,0%) и лугами (14,0%). В степной растительности преобладают луговые степи (42,0%) с незначительным участием настоящих степей (8,0%). Луговая растительность представлена исключительно остепненными лугами. Кустарниковая лесостепная растительность (36,0%) включает три формации: **спирейники** (*Spiraea crenata*), **миндальники** (*Amygdalus nana*) и **раkitники** (*Chamaecytisus ruthenicus*).

В 2021 году в травяной растительности описываемого участка преобладали луговые степи (42,0%) и лесостепные кустарники (36,0%). На территории самого участка особенно хорошо представлены **спирейники** – *Spiraea crenata* (16,0%) и **миндальники** – *Amygdalus nana* (14,0%). Вокруг памятника природы особенно значительно распространены **раkitники** – *Chamaecytisus ruthenicus*, но они были описаны только для примера.

Псаммофитный вариант степей занимает 8,0% площади и характеризуется преобладанием степных видов (64,0–65,0%) над луговыми (5,0–6,0%) за счет преимущественно настоящих ксерофитов (36,0–38,0%). ОПП – не очень высокое (70,0–71,0%); число видов колеблется от 12 до 15. Располагаются преимущественно на склонах южной экспозиции (на хорошо прогреваемых местах).

Включают две ассоциации, которые относятся к одной кустарниковой группе формаций. Выделяются две формации: одна – с доминированием *Amygdalus nana* (2,0% площади), а вторая – *Chamaecytisus ruthenicus* (6,0% площади).

Миндально-разнотравно-тырсовая (*Stipa capillata*, *Herbae*, *Amygdalus nana*) ассоциация занимает площадь 2,0%. ОПП – 70,0%, число видов – 15. Здесь также преобладают степные виды (65,0%) и в основном настоящие ксерофиты (36,0%). Группа злаков и осок доминирует (40,0%), а в ней особо развиты *Stipa capillata* (25,0%), *Festuca valesiaca* (8,0%) и *Stipa pennata* (5,0%). Разнотравье почти вдвое меньше представлено (20,0%), а из него более или менее заметен *Verbascum marschallianum* (7,0%) и *Stachys recta* (5,0%). Участвуют также и кустарники (10,0%) и осо-

бенно *Amygdalus nana* (7,0%). Бобовые отсутствуют полностью.

Раkitниково-разнотравно-типчакковая (*Festuca valesiaca*, *Herbae*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает площадь 6,0%. ОПП – 71,0%, число видов – 12. Преобладают степные виды (64,0%) и преимущественно настоящие ксерофиты (38,0%). Доминирует группа злаков и осок (43,0%), из которой особенно выделяется *Festuca valesiaca* (30,0–35,0%) и участвуют *Bromopsis riparia* (8,0–12,0%), *Phleum phleoides* (4,0–12,0%) и др. Из разнотравья (16,0%) отдельные клоновые пятна могут давать *Thymus marschallianus* (10,0%), *Plantago stepposa* (1,0–6,0%), *Knautia arvensis* (5,0%), *Jurinea cyanoides* (2,0–4,0%) и др. Довольно хорошо здесь представлены кустарники (11,0%), а именно *Chamaecytisus ruthenicus*, который может давать от 8,0 до 15,0%. Бобовые единичны (1,0%).

Луговые степи (42,0% площади) характеризуются преобладанием степных видов (47,0–78,0%) и, главным образом, мезоксерофитов (43,0–64,0%). ОПП колеблется от 58,0 до 83,0%, а число видов – от 11 до 17. Ассоциации луговых степей распространены на склонах разной экспозиции, при этом **дерновинно-злаковые** развиваются преимущественно по склонам южной, западной и восточной экспозиций, а **корневищно-злаковые** – по склонам северной экспозиции или в подножье холма. **Разнотравные** луговые степи часто формируются при нарушении растительного покрова естественного (эрозия склонов) и антропогенного происхождения (копка ям).

Луговые степи включают **дерновинно-злаковые** (1 ассоциация), **корневищно-злаковые** (1 ассоциация), **разнотравные** (1 ассоциация) и **кустарниковые** (3 ассоциации) группы формаций.

Дерновинно-злаковые луговые степи (2% площади) образуют одну формацию с доминированием *Stipa pennata*.

Перистоковыльная (*Stipa pennata*) ассоциация занимает площадь 2,0%. ОПП – 66,0%, число видов – 17. Господствуют степные виды (47,0%) и особенно мезоксерофиты (43,0%). Преобладают злаки и осоки (40,0%), а из них выделяются *Stipa pennata* (20,0%) и участвуют *Phleum phleoides* (8,0%), *Bromopsis riparia* (6,0%) и др. Далее следует разнотравье (25,0%), а в нем *Plantago stepposa* (8,0%), *Centaurea apiculata* (5,0%), *Fragaria viridis* (4,0%) и др. Кустарников очень мало (1,0%), а бобовые отсутствуют совсем.

Корневищно-злаковые луговые степи (4% площади) дают одну формацию с доминированием *Bromopsis riparia*.

Разнотравно-береговокострецовая (*Bromopsis riparia*, *Herbae*) ассоциация занимает площадь 4,0%. ОПП – довольно низкое (58,0%), число видов – 14. Преобладают степные виды (36,0%) практически за

счет мезоксерофитов (35,0%). В группе злаков и осок (35,0%) доминирует *Bromopsis riparia* (25,0–35,0%), отдельные клоновые пятна могут давать *Poa angustifolia* (5,0%) и *Agrostis tenuis* (4,0%). Из разнотравья (20,0%) отдельные пятна дают *Centaurea apiculata* (10,0%), *Seseli libanotis* (6,0%), *Achillea millefolium* (6,0%). Участие бобовых незначительное (3,0%), и они в основном представлены полукустарничком – *Genista tinctoria* (4,0%).

Кустарниковые луговые степи имеют значительное распространение на территории участка (34,0% площади); чаще всего они образуются с участием *Chamaecytisus ruthenicus*. Они формируют три формации с доминированием *Stipa tirsia*, *Stipa pennata*, *Bromopsis riparia*.

Ракитниково-разнотравно-узколистноковыльная (*Stipa tirsia*, *Herbae*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает площадь 6,0%. ОПП – 75,0%; число видов – 15. Преобладают степные виды (67,0%) и в основном мезоксерофиты (66,0%). Из господствующей группы злаков и осок (43,0%) доминирует *Stipa tirsia* (20,0–40,0%) с участием *Bromopsis riparia* (6,0–10,0%) и *Bromopsis inermis* (4,0–5,0%) и др. Из разнотравья (13,0%), из которого более или менее выделяются *Centaurea apiculata* (1,0–8,0%) и *Seseli libanotis* (1,0–8,0%). В этой ассоциации заметно участие кустарников (23,0%), которые формируют своеобразные кустарниковые степи. *Chamaecytisus ruthenicus* дает в сообществах от 10,0 до 30,0%. Бобовые отсутствуют полностью.

Ракитниково-разнотравно-перистоковыльная (*Stipa pennata*, *Herbae*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает площадь 12,0%. ОПП – 77,0%; число видов – 16. Преобладают степные (63,0%) и преимущественно мезоксерофитные (57,0%) виды. Господствует группа злаков и осок (37,0%), из которой доминирует *Stipa pennata* (15,0–35,0%) с участием двух видов *Bromopsis riparia* (3,0–10,0%) и *B. inermis* (3,0–10,0%) и др. Следующей группой является разнотравье (21,0%), из которого выделяются *Fragaria viridis* (3,0–8,0%), *Centaurea apiculata* (1,0–8,0%), *Inula salicina* (4,0–5,0%) и *Seseli libanotis* (5,0%); отдельные пятна клонового происхождения образуют *Thymus marschallianus* (10,0%) и *Centaurea apiculata* (10,0%). Заметно участие кустарников (18,0%), которые формируют своеобразные кустарниковые степи. *Chamaecytisus ruthenicus* дает в сообществах от 5,0 до 30,0%. Бобовых очень мало.

Ракитниково-разнотравно-береговокострецовая (*Bromopsis riparia*, *Herbae*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает площадь 16,0%. ОПП достигает 79,0%; число видов – 15. Преобладают степные виды (69,0%) за счет мезоксерофитов (62,0%). Из господствующей группы злаков и осок (41,0%) доминирует *Bromopsis riparia* (30,0–40,0%) и участвуют

отдельными пятнами *Stipa pennata* (10,0%), *Phleum phleoides* (1,0–6,0%), *Festuca valesiaca* (5,0%) и др. Среди разнотравья (20,0%) заметны *Thymus marschallianus* (2,0–20,0%), *Inula britannica* (2,0–10,0%), *Fragaria viridis* (2,0–8,0%), *Centaurea apiculata* (0,5–6,0%) и др. Из кустарников (17,0%) доминирует *Chamaecytisus ruthenicus*, проективное покрытие которого может меняться от 5,0 до 35,0%. Бобовых очень мало (1,0%).

Разнотравные луговые степи (2,0% площади) представлены только одной ассоциацией из одной формации с доминированием *Herbae*.

Ракитниково-типчаково-разнотравная (*Herbae*, *Festuca valesiaca*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает небольшую площадь (2,0%). ОПП повышается до 83,0%; число видов – 11. По-прежнему господствуют степные виды (78,0%) и преимущественно мезоксерофиты (48,0%). В этой ассоциации уже преобладает разнотравье (32,0%), а в нем выделяются *Verbascum marschallianum* (10,0%), *Thymus marschallianus* (8,0%), *Galium ruthenicum* (6,0%) и др. Далее следуют злаки и осоки (26,0%), а из них доминируют *Festuca valesiaca* (15,0%) и *Phleum phleoides* (10,0%). Здесь также отмечается значительное участие кустарников (20,0%), которые полностью представлены *Chamaecytisus ruthenicus* (20,0%). Последнее место занимают бобовые (5,0%), а конкретно *Trifolium alpestre* (5,0%).

Остепненные луга (14,0%) отличаются преобладанием луговых видов (31,0–53,0%) за счет мезоксерофитов (11,0–47,0%) или ксеромезофитов (8,0–48,0%). ОПП довольно высокое (60,0–100,0%), а число видов – от 9 до 13. Среди них могут быть *корневищно-злаковые* (2,0% площади) и *кустарниковые* (12,0% площади).

Корневищно-злаковые остепненные луга (2,0% площади) представлены только одной ассоциацией из одной формации с доминированием *Calamagrostis epigeios*.

Разнотравно-наземнойниковая (*Calamagrostis epigeios*, *Herbae*) ассоциация занимает небольшую площадь (2,0%). ОПП – 83,0%; число видов – 11. Также господствуют луговые виды (43,0%) практически полностью за счет ксеромезофитов (42,0%). Преобладают злаки и осоки (40,0%), а из них доминируют *Calamagrostis epigeios* (30,0%) и *Bromopsis riparia* (10,0%). Из разнотравья (14,0%) более или менее выделяются *Thymus marschallianus* (6,0%), *Seseli libanotis* (4,0%) и др. Бобовые – до 6,0%, особенно *Trifolium alpestre* (5,0%). Кустарники отсутствуют полностью.

Кустарниковые остепненные луга (12,0% площади) образуют две формации с участием *Amygdalus nana* (2,0% площади) и *Chamaecytisus ruthenicus* (10,0% площади).

К формации *кустарниковых остепненных лугов* с участием *Amygdalus nana* относится одна ассоциация.

Миндально-разнотравно-беззостокострецовая (*Bromopsis inermis*, *Herbae*, *Amygdalus nana*) ассоциация занимает небольшую площадь (2,0%). ОПП – 70,0%; число видов – 11. Преобладают луговые виды (31,0%) и исключительно ксеромезофиты (31,0%). На первом месте находится группа злаков и осок (40,0%), в которой доминирует *Bromopsis inermis* (20,0%) и участвуют *Poa angustifolia* (10,0%) и др. На втором месте находятся кустарники (20,0%) из *Amygdalus nana* (15,0%) и *Chamaecytisus ruthenicus* (5,0%). Третье место занимает разнотравье (10,0%), в котором особенно заметен *Thymus marschallianus* (6,0%) и др. Бобовых очень мало (1,0%).

Формация кустарниковых остепненных лугов с участием *Chamaecytisus ruthenicus* представлена тремя ассоциациями.

Ракитниково-разнотравно-наземноейниковая (*Calamagrostis epigeios*, *Herbae*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает небольшую площадь (2,0%). ОПП – 89,0%; число видов – 14. Преобладают луговые виды (49,0%) и практически все ксеромезофиты (48,0%). Из господствующей группы злаков и осок (35,0%) доминирует *Calamagrostis epigeios* (30,0%) и участвует (4,0%). Далее следуют кустарники (30,0%), которые состоят исключительно из *Chamaecytisus ruthenicus* (30,0%). На третьем месте находится группа разнотравья (22,0%), из которой особо выделяются *Centaurea apiculata* (6,0%), *Seseli libanotis* (5,0%), *Fragaria viridis* (4,0%) и др. Отмечается слабое участие бобовых (2,0%) полностью из *Vicia cracca*.

Ракитниково-разнотравно-беззостокострецовая (*Bromopsis inermis*, *Herbae*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 6,0% площади. ОПП – 85,0%; число видов – 10. Преобладают луговые виды (45,0%), причем почти полностью ксеромезофиты (44,0%). Также преобладают злаки и осок (39,0%), а из них явно доминирует *Bromopsis inermis* (25,0–45,0%) и участвуют *Festuca valesiaca* (1,0–5,0%), *Phleum phleoides* (5,0%) и др. Далее следуют кустарники (28,0%), а из них только *Chamaecytisus ruthenicus* (20,0–40,0%). На третьем месте находится разнотравье (17,0%), в нем выделяются *Seseli libanotis* (0,5–8,0%), *Thymus marschallianus* (1,0–6,0%), *Centaurea apiculata* (6,0%), *Chamaecytisus ruthenicus* (1,0–4,0%) и др. Бобовых очень мало (1,0%).

Ракитниково-разнотравно-ползучепырейная (*Elytrigia repens*, *Herbae*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает небольшую площадь (2,0%). ОПП – очень высокое (100,0%), число видов – 13. Господствуют луговые виды (53,0%), причем преимущественно мезоксерофиты (47,0%). Половина от ОПП принадлежит злакам и осокам (50,0%), в которых явно доминировал *Elytrigia repens* (45,0%) с участием *Bromopsis inermis* (5,0%). Затем следуют кустарники (40,0%), которые были представлены исключитель-

но *Chamaecytisus ruthenicus* (40,0%). Отмечается также разнотравье (10,0%), а в нем несколько выделяется *Galium ruthenicum* (7,0%) и *Lavatera thuringiaca* (3,0%). Бобовые отсутствуют полностью.

Лесостепные кустарники в настоящее время имеют довольно большое распространение на территории памятника природы «Красный мар» (36,0%) и включают три формации: с доминированием *Spiraea crenata* (**спирейники**, 16,0% площади), с доминированием *Amygdalus nana* (**миндальники**, 14,0% площади) и с доминированием *Chamaecytisus ruthenicus* (**ракетники**, 6,0% площади). Следует отметить, что **ракетники** тоже хорошо представлены на участке и в его окружении.

Лесостепные кустарники обычно характеризуются очень высоким ОПП от 78,0 до 100,0%. Число видов, напротив, несколько снижается (7–14). Во всех кустарниковых сообществах преобладают степные виды (57,0–100,0%), но исключительно мезоксерофиты (57,0–93,0%). Явно доминируют кустарники от 50,0 до 90,0%, а участие других групп довольно низкое: злаки и осок от 4,0 до 29,0%, разнотравье – от 3,0 до 22,0%, а бобовые и вовсе не превышают 1,0%.

Первая формация **спирейники** из *Spiraea crenata* имеет наибольшее распространение на участке (16,0% площади) и включает 6 ассоциаций, из которых первые две в качестве субдоминанта имеют *Amygdalus nana*, а остальные четыре – *Chamaecytisus ruthenicus*.

Спирейники из *Spiraea crenata* занимают преимущественно склоны южной экспозиции, особенно их средние и верхние части, а также вершину холма. ОПП меняется от 85,0 до 96,0%. Наиболее разреженные сообщества развиваются на крутых сильно эродированных склонах. На более выровненных местах ОПП несколько увеличивается, и сами сообщества становятся более густыми.

Миндально-спирейник редкотравная (*Herbae*, *Spiraea crenata*, *Amygdalus nana*) ассоциация занимает 6,0% площади. ОПП – очень высокое (99,0%); число видов – 8. Преобладают степные виды (96,0%) и в основном мезоксерофиты (93,0%). Кустарниковый ярус (88,0%) образован *Spiraea crenata* (50,0–80,0%) со значительным участием *Amygdalus nana* (8,0–30,0%) и очень небольшим – *Chamaecytisus ruthenicus* (2,0–5,0%). В травяном ярусе из разнотравья (7,0%) отмечаются отдельные пятна *Gypsophila paniculata* (4,0%), *Artemisia campestris* (3,0%), *Falcaria vulgaris* (3,0%), *Rumex confertus* (3,0%) и др., из злаков и осок (4,0%) – *Phleum phleoides* (3,0%), а бобовые отсутствуют совсем.

Ракитниково-миндально-спирейник редкотравная (*Herbae*, *Spiraea crenata*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – тоже очень высокое (95,0%), число видов – 10. Господствуют степные виды (80,0%), исключительно мезоксерофиты (80,0%). Кустарниковый ярус (70,0%) также обра-

зован *Spiraea crenata* (50,0%) с участием *Amygdalus nana* (12,0%) и *Chamaecytisus ruthenicus* (8,0%). В травяном ярусе слабо представлено разнотравье (15,0%) с участием *Thalictrum minus* (8,0%), (4,0%) и др., а также злаки и осоки (10,0%), из которых выделяется *Bromopsis inermis* (6,0%) и *B. riparia* (4,0%), а бобовые также отсутствуют.

Ракитниково-спирейник редкотравная (*Herbae, Spiraea crenata, Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – по-прежнему очень высокое (92,0%); число видов – 11. Преобладают степные виды (77,0%), а именно мезоксерофиты (77,0%). Кустарниковый ярус (70,0%) образован преимущественно *Spiraea crenata* (40,0%) и в меньшей мере – *Chamaecytisus ruthenicus* (30,0%). В травяном ярусе из малообильного разнотравья (12,0%) выделяются *Thalictrum minus* (6,0%), *Galium ruthenicum* (4,0%), а из группы злаков и осок (10,0%) – *Bromopsis inermis* (5,0%) и *Poa angustifolia* (3,0%); бобовые по-прежнему отсутствуют.

Ракитниково-спирейник безостокострецовая (*Bromopsis inermis, Spiraea crenata, Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – довольно высокое (85,0%); число видов – 9. Преобладают степные виды (57,0%), в основном мезоксерофиты (57,0%). Кустарниковый ярус (50,0%) образован *Spiraea crenata* (40,0%) с участием *Chamaecytisus ruthenicus* (30,0%). В травяном ярусе преобладает группа злаков и осок (20,0%), в которой доминируют *Bromopsis inermis* (15,0%) и *Poa angustifolia* (3,0%). В разнотравье (15,0%) выделяются *Thalictrum minus* (10,0%) и *Inula britannica* (4,0%), а бобовые также отсутствуют.

Ракитниково-спирейник ползучекрырейная (*Elytrigia repens, Spiraea crenata, Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – высокое (99,0%); число видов – 7. Господствуют степные виды (92,0%) и исключительно мезоксерофиты. Кустарниковый ярус (90,0%) состоит преимущественно из *Spiraea crenata* (80,0%) с некоторым участием *Chamaecytisus ruthenicus* (10,0%). В травяном ярусе из группы злаков и осок выделяется только *Elytrigia repens* (6,0%), а другие группы очень плохо представлены: разнотравье (3,0%) и бобовые (1,0%).

Ракитниково-спирейник безлистнокасаиковая (*Iris aphylla, Spiraea crenata, Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – высокое (92,0%); число видов – 11. Преобладают степные виды (87,0%), причем преимущественно мезоксерофиты (82,0%). Кустарниковый ярус (60,0%) состоит из *Spiraea crenata* (50,0%) с участием *Chamaecytisus ruthenicus* (10,0%). В травяном ярусе заметно участвует разнотравье (22,0%), а в нем *Iris aphylla* (10,0%) и *Thymus marschallianus* (5,0%); из группы злаков и осок выделяется *Bromopsis riparia* (8,0%), а бобовые отсутствуют полностью.

Вторая формация с доминированием *Amygdalus nana* (**миндальники**) занимают 14,0% площади и включают 4 растительные ассоциации. **Миндальники** распространены по крутым склонам преимущественно южной экспозиции (нижние, средние и верхние части), а также отмечаются на вершине холма, где они нередко образуют сплошные заросли с ОПП около 100%.

Спирейно-миндальник береговокострецовая (*Bromopsis riparia, Amygdalus nana, Spiraea crenata*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – очень высокое (100,0%); число видов – 14. Отмечается значительное участие степных видов (94,0%) и почти исключительно мезоксерофитов (93,0%). Кустарниковый ярус (80,0%) хорошо выражен и образован преимущественно *Amygdalus nana* (70,0%) с участием *Spiraea crenata* (10,0%). В травяном ярусе из группы злаков и осок (12,0%) особенно выделяются *Bromopsis riparia* (8,0%) и *B. inermis* (2,0%). Разнотравье слабо представлено (7,0%), и в нем заметна только *Artemisia campestris* (3,0%), а бобовых еще меньше (1,0%).

Спирейно-миндальник равниннополюнная (*Artemisia campestris, Amygdalus nana, Spiraea crenata*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – тоже очень высокое (100,0%); число видов – 7. Господствуют степные виды (100,0%), причем большинство из них мезоксерофиты (97,0%). Выраженный кустарниковый ярус (80,0%) состоит из *Amygdalus nana* (60,0%) с участием *Spiraea crenata* (20,0%). Травяной ярус менее выражен, и в нем заметно участие разнотравья (15,0%) и особенно *Artemisia campestris* (10,0%). Группа злаков и осок слабо представлена (5,0%), а в ней более или менее выделяются *Festuca valesiaca* (3,0%), *Bromopsis riparia* (2,0%). Бобовые отсутствуют полностью.

Ракитниково-миндальник безостокострецовая (*Bromopsis inermis, Amygdalus nana, Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 8,0% площади. ОПП – высокое (94,0%); число видов – 11. Преобладают степные виды (73,0%), причем практически полностью мезоксерофиты (72,0%). Кустарниковый ярус (70,0%) состоит в основном из *Amygdalus nana* (60,0%) с некоторым участием *Chamaecytisus ruthenicus* (10,0%). В травяном ярусе из группы злаков и осок (16,0%) выделяется только *Bromopsis inermis* (18,0%) с участием *Poa angustifolia* (2,0%), а из разнотравья (8,0%) – *Thalictrum minus* (5,0%) и *Xanthoselinum alsaticum* (3,0%). Бобовых нет.

Ракитниково-миндальник редкотравная (*Herbae, Amygdalus nana, Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – очень высокое (100,0%); число видов – 4. Преобладают степные виды (90,0%) и исключительно мезоксерофиты (90,0%). Кустарниковый ярус (90,0%) мощно развит и образован в основном из *Amygdalus nana* (85,0%) с небольшим участием *Chamaecytisus ruthenicus* (5,0%). Травяной ярус

очень слабо развит, и в нем из разнотравья (6,0%) выделяется только *Thalictrum minus* (6,0%), а из группы злаков и осок (4,0%) – только *Poa angustifolia* (4,0%). Бобовые отсутствуют.

Третья формация из *Chamaecytisus ruthenicus* (**ра-kitники**) имеет площадь 6,0%, хотя в действительности в окрестностях изучаемого участка она имеет значительно большее распространение. В связи с широким распространением этой формации в окружающей растительности на самом участке она подробно не описывалась в связи с ее меньшей ценностью. Описаны только две ассоциации с доминированием этого вида. На самом деле их значительно больше, и этот вид может часто играть роль содоминанта во многих сообществах с другими наиболее редко встречающимися кустарниками.

Учитывая выше сказанное, эта формация встречается повсеместно на склонах северной, южной, западной и восточной экспозиций и практически на разных частях склонов (нижней, средней и верхней), а также встречается на вершине холма и в его подножии. Поскольку редкие кустарники из *Amygdalus nana*, *Spiraea crenata*, *Cerasus fruticosa* предпочитают склоны южной экспозиции, то из *Chamaecytisus ruthenicus* преобладают на склонах северной, западной и восточной.

Обе растительные ассоциации и были описаны именно на пологом склоне северной экспозиции.

Ракитниково-миндальник редкотравная (*Herbae*, *Amygdalus nana*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 2,0% площади. ОПП – высокое (78,0%); число видов – 10. Преобладают степные виды (56,0%), преимущественно мезоксерофиты (52,0%). Кустарниковый ярус составляет 50,0% и образован исключительно *Chamaecytisus ruthenicus*. В травяном ярусе выделяются группы злаков и осок (22,0%), в которой доминирует *Calamagrostis epigeios* (12,0%) и участвует *Bromopsis inermis* (8,0%). Разнотравье очень слабо развито (6,0%), и в нем выделяется *Thymus marschallianus* (2,0%). Бобовые отсутствуют.

Ракитник безостокострецовая (*Bromopsis inermis*, *Chamaecytisus ruthenicus*) ассоциация занимает 4,0% площади. ОПП – очень высокое (95,0%); число видов – 11. Преобладают степные виды (62,0%), почти исключительно мезоксерофиты (60,0%). Кустарниковый ярус (55,0%) образован только *Chamaecytisus ruthenicus* (50,0–60,0%). В травяном ярусе господствует группа злаков и осок (29,0%), в которой доминирует *Bromopsis inermis* (10,0–25,0%) и участвуют *Poa angustifolia* (3,0–8,0%), *Carex praecoх* (6,0%). Разнотравье развито слабо (9,0%), и в нем более или менее заметны *Euphorbia virgata* (6,0%), *Galium ruthenicum* (2,0) *Populus tremula* (4,0), *Gypsophila paniculata* (3,3%). Бобовые незначительны (1,0%).

Сравнение современной растительности с более ранними описаниями, сделанными нами в 2000 году

(Новикова, 2001), позволяют сделать вывод о ее значительной трансформации за последние 20 лет.

Склоны холма южной экспозиции прежде были заняты преимущественно каменисто-песчаной степью с некоторым участием кустарников.

Степная растительность отличалась дерновинно-злаковым характером с доминированием из злаков *Stipa pennata*, *Festuca valesiaca*, *Phleum phleoides* и участием следующих видов из разнотравья (*Artemisia campestris*, *Gypsophila paniculata*, *Potentilla humifusa*). В этих степных сообществах отмечался такой редкий вид, как *Galatella angustissima*. В этих условиях наблюдались сообщества с участием кустарников.

В настоящее время на этих склонах преимущественно развиваются кустарниковые степи с участием разных видов кустарников, чаще *Spiraea crenata*, реже – *Amygdalus nana* и *Chamaecytisus ruthenicus*.

Здесь отмечаются небольшие фрагменты настоящих степей (песчаных вариантов степей) дерновинно-злаковых с доминированием *Festuca valesiaca* и *Stipa capillata*, но они теперь включают и кустарники (*Amygdalus nana* и *Chamaecytisus ruthenicus*).

На склонах восточной и западной экспозиции и раньше отмечались кустарниковые луговые степи с участием *Chamaecytisus ruthenicus*. В травостое обычно преобладало разнотравье с доминированием *Fragaria viridis*, а из злаков особо выделялись виды рода *Stipa*, *Bromopsis riparia*.

Уже тогда отмечалось, что по склону западной экспозиции появляются отдельные деревья *Malus domestica* и кустарники из рода *Salix*. Кроме того, здесь начала формироваться небольшая осиновая роща из *Populus tremula*.

В настоящее время здесь в значительной степени сохранились длинноконевидно-злаковые луговые степи с доминированием *Bromopsis riparia*, но они очень часто переходят в кустарниковые степи с участием и *Chamaecytisus ruthenicus*.

На вершине холма в значительной степени развиваются степные кустарники из *Amygdalus nana*, *Cerasus fruticosa*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Spiraea crenata* и *Prunus spinosa*.

Кроме того, с западной части холма сформировался осиновый лес редкотравный (*Populus tremula*, *Herbae*). В древесном ярусе доминирует *Populus tremula*, а в травяном – *Glechoma hederacea*. Он постепенно увеличивает свои размеры, и в нем появляются настоящие лесные виды.

На склонах северной экспозиции отмечались длинноконевидно-злаковые луговые степи с доминированием *Bromopsis riparia* и меньшим участием видов из рода *Stipa*. Большую роль в этих сообществах играли бобовые (*Trifolium alpestre*, *Trifolium alpestre*, *Vicia cracca* и др.). Участвовали также длинноконевидно-

вишно-злаковые остепненные луга из *Calamagrostis epigeios* с участием *Poa angustifolia*.

В настоящее время длинноконевишно-злаковые луговые степи с доминированием *Bromopsis riparia*, а также длинноконевишно-злаковые остепненные луга с доминированием *Calamagrostis epigeios* и *Bromopsis inermis* продолжают в значительной мере сохраняться в северной части участка.

Появляются значительные по площади кустарниковая растительность преимущественно из *Chamaecytisus ruthenicus*, а также отдельные деревья *Pinus sylvestris*, *Malus domestica* и некоторых видов рода *Salix*.

Таким образом, за прошедшие годы наблюдений (более 20 лет) растительность холма сильно изменилась. Прежде все отмечается значительное распространение кустарников по территории участка. Особенно значительные кустарниковые массивы преимущественно из *Amygdalus nana*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Cerasus fruticosa*, *Prunus spinosa* сформировались на вершине участка.

Значительное распространение кустарников в основном из *Spiraea crenata*, *Amygdalus nana*, *Chamaecytisus ruthenicus* произошло и на склонах южной экспозиции, что привело к вытеснению наиболее редкой каменисто-песчаной степи с участием различных видов рода *Stipa*.

Но особое беспокойство вызывает распространение в западной части участка осинового рощи, которая создает опасность для сохранения биоразнообразия всего ценного участка. С целью сохранения каменисто-песчаных степей необходимо ввести регулируемый режим охраны изученного участка (выпас и сенокос).

Выводы

1. Флора памятника природы «Красный мар» включает 105 видов из двух отделов: покрытосеменные – Magnoliophyta (96,0%) и голосеменные – Pinophyta (4,0%). Кроме этого, отмечается 8 редких видов, из

которых 1 вид занесен в Перечень Красной книги Российской Федерации (Приказ Минприроды РФ от 23.05.2023 № 320 «Об утверждении перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации», зарегистрировано в Минюсте РФ 21.07.2023 № 74362) и 8 видов – в Красную книгу Пензенской области [7].

2. По данным 2021 года на изученном участке отмечена преимущественно травяная (64,0%) и в меньшей степени – кустарниковая (36,0%) растительность. В настоящее время на изученном участке преобладают в травяной растительности луговые степи (42,0%) над настоящими степями (8,0%), которые, собственно, и представляют собой каменисто-песчаные степи. Важно также отметить, что в луговых степях также преобладают кустарниковые (34,0%) и участвуют корневишно-злаковые (4,0%) и дерновинно-злаковые (2%). Настоящие степи также представлены исключительно кустарниковой группой формаций.

3. Кустарниковая лесостепная растительность (36,0%) включает три формации (**спирейники, миндальники и ракитники**), из которых на участке сейчас преобладают **спирейники** (16,0%) и **миндальники** (14,0%).

4. Луговая растительность теперь не занимает большой площади на участке (14,0%) и представлена чаще кустарниковыми (12,0%) и реже – длинноконевишно-злаковыми (2,0%) и остепненными лугами.

5. В условиях заповедного режима при отсутствии антропогенного влияния за 20 последних лет отмечается процесс сивлатизации, а именно распространение на территории памятника природы «Красный мар» кустарников и деревьев. Это приводит к выпадению наиболее ценной каменисто-песчаной степи.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках государственного задания Института экологии Волжского бассейна РАН «Структура, динамика и устойчивое развитие экосистем Волжского бассейна», регистрационный номер 1021060107217-0-1.6.19.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Благовещенский ВВ. Растительность Приволжской возвышенности в связи с ее историей и рациональным использованием. Ульяновск: Ульяновский гос. ун-т; 2005.
2. Васюков ВМ, Саксонов СВ. Конспект флоры Пензенской области. Тольятти: Анна; 2020.
3. Гладков ФВ. Повесть о детстве. М.: Художественная литература; 1971.
4. Даль ВИ. Толковый словарь русского языка. Современная версия. М.: ЗАО изд-во ЭКСМО-Пресс; 2002.
5. Ипатов ВС. Методы описания фитоценоза. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2000.

6. Ипатов ВС, Мирин ДМ. Описания фитоценоза. Методические рекомендации. СПб.: Изд-во СПбГУ; 2008.
 7. Иванов АИ, ред. Красная книга Пензенской области Ч. I. Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения. 2-е изд. Пенза: ИПК Пензенская правда; 2013.
 8. Малышева ГС, Малаховский ПД. Лесостепь Приволжской возвышенности. Ботанический журнал. 2008;93(4):600-10.
 9. Малышева ГС, Малаховский ПД. Зональные особенности растительности Приволжской возвышенности. Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: Материалы Всероссийской конференции. Часть 5. Геоботаника. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН; 2008. С. 213-5.
 10. Новикова ЛА. Степные памятники природы Пензенской области. ПОЛЕ. Научно-популярный экологический вестник. 2001;(4):12-5.
 11. Новикова ЛА. Роль памятников природы в сохранении каменисто-песчаных и песчаных степей Пензенской области. Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении исчезающих степей Евразии: Материалы II международной конференции. М.: КЛИО; 2002. С. 46-50.
 12. Новикова ЛА. Мониторинг травяного компонента «Островцовской лесостепи». Известия Самарского научного центра РАН. Спецвыпуск «Природное наследие России». 2004;2:294-305.
 13. Новикова ЛА. Структура и динамика растительности «Попереченской степи». Известия Самарского научного центра РАН. 2009;11(1,4):622-9.
 14. Новикова ЛА. Мониторинг растительности «Кунчеровской степи». Поволжский экологический журнал. 2010;4:351-60.
 15. Новикова ЛА. Охрана разнообразия степей на западных склонах Приволжской возвышенности. Раритеты флоры Волжского бассейна: доклады участников II Российской научной конференции. Тольятти: Кассандра; 2012. С. 175-9.
 16. Новикова ЛА. Особо охраняемые природные территории Пензенской области и их мониторинг. Биоразнообразие и антропогенная трансформация экосистем: VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 110-летию Саратовского государственного университета и 25-летию Государственного природного заповедника «Воронинский». Труды Государственного природного заповедника «Воронинский». Воронеж: Научная книга; 2019. Т. 4. С. 69-75.
 17. Паршутина ЛП. Каменная степь – прежде и теперь. Степной бюллетень. 2000;8:21-5.
 18. Паршутина ЛП. Современная степная растительность балок «Каменной степи» (Воронежская область). Ботанический журнал. 2012;97(1):73-86.
 19. Солянов АА. Флора Пензенской области. Пенза: Изд-во «Пензенская правда»; 2001.
 20. Ямашкин АА, Артемова СН, Новикова ЛА. Ландшафтная карта и пространственные закономерности природной дифференциации Пензенской области. Теория и практика планирования культурных ландшафтов: тезисы Всероссийской научной конференции. Саранск: Изд-во Мордовского гос. ун-та; 2010. С. 73-86.
 21. Ямашкин АА, Артемова СН, Новикова ЛА, Леонова НА, Алексеева НС. Электронная ландшафтная карта Пензенской области. Известия Пензенского государственного университета им. ВГ Белинского. Сер. Естественные науки. 2011;25:655-63.
 22. Ямашкин АА, Артемова СН, Новикова ЛА, Леонова НА, Алексеева НС. Ландшафтная карта и пространственные закономерности природной дифференциации Пензенской области. Проблемы региональной экологии. 2011;1:49-57.
 23. Ямашкин АА, Новикова ЛА, Ямашкин СА, Яковлев ЕЮ, Уханова ОМ. Ландшафтно-экологическое планирование системы ООПТ Пензенской области. Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2015;25(1):24-33.
 24. Ямашкин АА, Новикова ЛА, Ямашкин СА, Яковлев ЕЮ, Уханова ОМ. Пространственная модель ландшафтов западных склонов Приволжской возвышенности. Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2015;25(3):124-32.
- Общий список литературы/References**
1. Blagoveshchensky VV. Rastitelnost Privolzhskoy Vozvyshennosti v Svyazi s Yeye Istoriyey i Ratsionalnym Ispolzovaniyem. [Vegetation of the Volga Upland in Connection with its History and Rational Use]. Ulyanovsk: Ulyanovsk State. University; 2005. (In Russ.)
 2. Vasjukov VM, Saksonov SV. Konspekt Flory Penzenskoy Oblasti. Flora Volzhskogo Basseyna, T. IV. [Check-list of the Flora of Penza Region. Flora of the Volga River Basin, Vol. IV]. Togliatti: Anna; 2020. (In Russ.)
 3. Gladkov FV. Povest o Detstve. [A Tale of Childhood]. Moscow: Khudozhestvennaya Literatura; 1971. (In Russ.)

4. Dal VI. Tolkovyy Slovar Russkogo Yazyka. Sovremennaya Versiya. [Explanatory Dictionary of the Russian Language. Modern Version]. Moscow: EKS-MO Press; 2002. (In Russ.)
5. Ipatov VS. Metody Opisaniya Fitotsenoza. [Methods for Describing of Phytocenosis]. Saint Petersburg: SPbGU; 2000. (In Russ.)
6. Ipatov VS, Mirin DM. Opisaniya Fitotsenoza. Metodicheskiye Rekomendatsii. [Descriptions of Phytocenosis. Guidelines]. Saint Petersburg: SPbGU; 2008. (In Russ.)
7. Ivanov FI, ed. Krasnaya Kniga Penzenskoy Oblasti. Ch. I Griby, Lishayniki, Mkhi, Sosudistyeye Rasteniya. [Red Book of the Penza Region Part I Mushrooms, Lichens, Mosses, and Vascular Plants]. 2nd ed. Penza: IPK Penzenskaya Pravda; 2013. (In Russ.)
8. Malysheva GS, Malakhovskiy PD. [Forest-steppe of the Volga Upland]. Bot Zhurn. 2008;93(4):600-10. (In Russ.)
9. Malysheva GS, Malakhovskiy PD. [Zonal features of vegetation of the Volga Upland]. In: Fundamental'nye i Prikladnye Problemy Botaniki v Nachale XXI Veka Materialy Vserossiyskoy Konferentsii Chast 5 Geobotanika. Petrozavodsk: Karelskiy NTS RAN; 2008. P. 213-5. (In Russ.)
10. Novikova LA. [Steppe natural monuments of the Penza region]. Nauchno-Populyarnyi Ekologicheskii Vestnik. 2001;4:12-5. (In Russ.)
11. Novikova LA. [The role of natural monuments in the conservation of rocky-sandy and sandy steppes of the Penza region]. In: Rol' Osobo Okhranyayemykh Prirodnykh Territoriy v Sokhraneniі Ischezayushchikh Stepey Yevrazii: Materialy II Mezhdunarnoy Konferentsii. Moscow: KLIO; 2002. P. 46-50. (In Russ.)
12. Novikova LA. [Monitoring of the herbal component of the «Ostrovtsovskaya forest-steppe»]. In: Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra RAN Spetsvypusk «Prirodnoye Naslediye Rossii»; 2004. Ch. 2. P. 294-305. (In Russ.)
13. Novikova LA. [Structure and dynamics of vegetation of the «Poperechenskaya steppe»]. Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra RAN. 2009;11(1,4):622-9. (In Russ.)
14. Novikova LA. [Monitoring of vegetation of the Kuncherovskaya steppe]. Povolzhskiy Ekologicheskii Zhurnal. 2010;4:351-60. (In Russ.)
15. Novikova LA. [Protection of steppe diversity on the western slopes of the Volga Upland]. In: Rariteti Flory Volzhskogo Basseyna: Doklady Uchastnikov II Rossiyskoy Nauchnoy Konferentsii. Togliatti: Kassandra; 2012. P. 175-9. (In Russ.)
16. Novikova LA. [Protected natural areas of the Penza region and their monitoring]. Trudy Gosudarstvennogo Prirodnogo Zapovednika Voroninskiy. 2019;4:69-75. (In Russ.)
17. Parshutina LP. [Stone steppe – before and now]. Stepnoy Biulleten. 2000;8:21-5. (In Russ.)
18. Parshutina LP. [Modern steppe vegetation of the ravines of the “Stone Steppe” (Voronezh region)]. Bot Zhurn 2012; 97(1):73-86. (In Russ.)
19. Solyanov AA. Flora Penzenskoy Oblasti. [Flora of the Penza Region]. Penza: Penzenskaya pravda; 2001. (In Russ.)
20. Yamashkin AA, Artemova SN, Novikova LA. [Landscape map and spatial patterns natural differentiation the Penza region]. In: Teoriya i Praktika Planirovaniya Kulturnykh Landshaftov. Saransk: Izdatel'dtvo Mordovskogo Gosudarstvennogo Unibersiteta; 2010. P. 73-86. (In Russ.)
21. Yamashkin AA, Artemova SN, Novikova LA, Leonova NA, Alekseyeva NS. [Digital landscape map of the Penza region]. Izvestiya Penzenskogo Gosudarstvennogo Universiteta im V G Belinskogo. Ser Yestestvennyye Nauki. 2011; 25:655-63. (In Russ.)
22. Yamashkin AA, Artemova SN, Novikova LA, Leonova NA, Alekseyeva NS. [Landscape map and spatial patterns of natural differentiation of the Penza region]. Problemy Regionalnoy Ekologii. 2011;1:49-57. (In Russ.)
23. Yamashkin AA, Novikova LA, Yamashkin SA, Yakovlev YeYu, Ukhanova OM. [Landscape and ecological planning of the specially protected natural area system in the Penza region]. Vestnik Udmurtskogo Universiteta Ser Biologiya Nauki o Zemle. 2015;25(1):24-33. (In Russ.)
24. Yamashkin AA, Novikova LA, Yamashkin SA, Yakovlev YEYU, Ukhanova OM. [Spacial model of landscapes of Volga upland western slopes]. Vestnik Udmurtskogo Universiteta Ser Biologiya Nauki o Zemle. 2015;25(3):124-32. (In Russ.)
25. IPNI. International Plant Names Index. Kew: The Royal Botanic Gardens, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens Publ.; 2024. <http://www.ipni.org> (accessed:10.01.2024).
26. Novikova LA, Pankina DV, Mironova AA. The dynamics of the central Russian meadow steppes and the problem of their preservation. Biol Bulln. 2017;44(5):506-10.
27. Novikova LA, Saksonov SV, Senator SA, Vasjukov VM. Century-long dynamics of meadow steppes in the Privolzhskaya Uplands. In: The Fourth International Scientific Conference Ecology and Geography of Plants and Plant Communities. KnE Life Sciences; 2018. P. 1-6. DOI: 10.18502/cls.v4i7.3232.

НАУКОМЕТРИЯ, ОЦЕНКА НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНЫХ И НАУЧНАЯ ПОЛИТИКА В РОССИИ

Л.Я. Боркин^{1*}, А.Ф. Сайфитдинова^{1, 2**}

¹ Санкт-Петербургский союз ученых и ² Российский государственный педагогический университет
им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

*Эл. почта: Leo.Borkin@zin.ru; ** saitfdinova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.04.24; принята к печати 02.05.24

В статье кратко изложена история формирования наукометрии. Описаны библиометрические показатели (индекс цитирования, импакт-фактор, индекс Хирша и др.) и крупнейшие базы данных и поисковые системы (Web of Science, Scopus, Dimensions, CrossRef, COCI, Microsoft Academic, SCImago Journal Rank, The Lens, OpenAlex, Semantic Scholar), которые используются в России. Рассмотрены недостатки количественных показателей, а также критика последних со стороны научного сообщества. Описан процесс монополизации мирового рынка публикаций крупными западными издательствами. Особое внимание уделено федеральной административной политике оценки деятельности ученых и организаций в России в 2010-е годы с упором на библиометрические показатели и западные базы данных, а также на принуждение российских ученых публиковаться в зарубежных журналах из списков Web of Science и Scopus. Даны характеристики Российскому индексу научного цитирования (РИНЦ), показателю результативности научной деятельности (ПРНД), использованию западных и российских индикаторов в служебном продвижении и грантовом финансировании российских ученых. Указаны пагубные последствия ошибочной наукометрической политики для российской науки, а также использования наукометрии в условиях западных санкций и проведения специальной военной операции. Заключают статью рекомендации авторов. Положительно оценивая достижения и возможности библиометрии для анализа развития науки и ее пользу в поиске научной информации, авторы выступают категорически против применения количественных показателей для оценки индивидуальных ученых. Она должна основываться на экспертном анализе, то есть на рассмотрении содержания (качества) публикаций, а не того, где и в каком количестве они были опубликованы.

Ключевые слова: наукометрия, индекс цитирования, импакт-фактор, индекс Хирша, научная политика, экспертиза, западные санкции.

SCIENTOMETRICS, ASSESSMENT OF SCIENTIFIC ACTIVITIES OF SCIENTISTS, AND SCIENCE POLICY IN RUSSIA

L.J. Borkin^{1*}, A.F. Saifitdinova^{1, 2**}

¹ Saint-Petersburg Association of Scientists & Scholars and ² Herzen State Pedagogical University of Russia,
Saint Petersburg, Russia

*E-mail: Leo.Borkin@zin.ru; ** saitfdinova@mail.ru

The article outlines the history of the development of scientometrics. Bibliometric indicators (citation index, impact factor, Hirsch index, etc.) and the major databases and search engines (Web of Science, Scopus, Dimensions, CrossRef, COCI, Microsoft Academic, SCImago Journal Rank, The Lens, OpenAlex, and Semantic Scholar), which are used in Russia, are described. Shortcomings of the quantitative indicators and criticism thereof by the scientific community are considered. The monopolization of the world publication market by major Western publishers is described. Particular attention is given to the federal administrative policy of assessing the activities of scientists and research organizations in Russia in the 2010s, with its emphasis on bibliometric indicators and Western databases as well as on forcing Russian scientists to publish in foreign journals indexed in Web of Science and Scopus. The use of the Russian Science Citation Index (RSCI), the Scientific Performance Indicator, and Western and Russian bibliometric indicators in career advancement and grant funding of Russian scientists is characterized. The disastrous consequences of the erroneous scientometric policy and of the use of scientometrics in the context of Western sanctions and the special military operation in Ukraine for Russian science are discussed. The authors' recommendations for rectifying the situation are presented. While admiring bibliometrics achievements and potential for analyzing the development of science and acknowledging its usefulness in searching for scientific information, the authors definitely object against using the bibliometrics indicators for evaluating any individual scientists and papers, which should be judged about based on expert analysis, i.e. according to the content (quality) of publications rather than to the number and publishing venues thereof.

Keywords: scientometrics, citation index, impact-factor, h-index, science policy, expert analysis, Western sanctions.

«Не имеет значения, где вы публикуете; имеет значение, что вы публикуете».
Aaron Ciechanover, Нобелевский лауреат по химии (2004), иностранный член РАН¹

Введение

Попытки разработать количественные методы для оценки качества научных журналов и анализа процессов развития научных исследований имеют давнюю историю, начиная с последней трети XIX века. Однако бурный рост наукометрии и ее практическое применение связано с именем американского библиометра и бизнесмена Юджина Гарфилда (Eugene Eli Garfield, 1925–2017), химика и лингвиста по образованию. Его самый ранний проект был поддержан Медицинской библиотекой Вооруженных сил США (Armed Forces Medical Library). В 1956 году Ю. Гарфилд создал в Филадельфии Институт научной информации (Institute for Scientific Information, ISI) и стал его президентом. Это учреждение, имевшее статус частной компании, стало заниматься созданием и анализом баз данных в области библиографии. Это удачно совпало с развитием широкой компьютеризации.

В начале 1960-х годов последовал пилотный проект Ю. Гарфилда по созданию базы данных и анализу цитирования более 5000 патентов по химии, профинансированный двумя частными фармацевтическими компаниями. В 1962 году был выполнен другой более сложный пилотный проект по созданию трех баз данных по генетике с охватом литературы через 1, 5 и 14 лет¹.

Разработка индексов, включая импакт-фактор журналов, была нацелена на содействие администраторам и сотрудникам библиотек, комплекующим наборы журналов, в более адекватном отборе журналов для своих учреждений при неизбежной ограниченности денежных средств на подписку. Также предполагалось, что анализ индексов будет полезен издательствам при планировании их журнальной деятельности.

Кроме того, индексы, в том числе число публикаций и их цитирований, оказались продуктивным инструментом для социологов науки (науковедов) и фактически помогли сформировать новое направление в библиометрии. С помощью индикаторов стали *a posteriori* оценивать влияние (импакт) того или иного журнала, а также той или иной публикации (открытия) на дальнейшие исследования. Более того, появилась возможность выявлять тенденции развития в науке, формирование новых полей исследования, проследить сети (взаимодействия) ученых в пределах научных дисциплин и междисциплинарных сообществ внутри

страны и в мире, сопоставлять и анализировать вклад разных стран в мировую науку и т. д.

В перспективе, мечтал Юджин Гарфилд [66: 649], индексирование журналов позволит создать «тотальную коммуникацию» среди ученых, своего рода состояние «исследовательской нирваны», «мировой мозг» (Герберт Уэллс), который с помощью компьютеров преодолеет ограниченные возможности человеческой памяти.

Таким образом, первоначально индекс предназначался для весьма благих целей, в помощь университетам и библиотекам, а вовсе не для административной оценки самих исследователей. Однако романтическое увлечение журнальным импакт-фактором, позволяющим вычленивать высоко цитируемые издания, впоследствии привело к неправомерному использованию этого индикатора при оценке деятельности исследователей и к злоупотреблениям по отношению к ученым [44].

Наивным пионерам наукометрии и в голову не могло прийти, что на основании индексов можно будет влиять на зарплату исследователей, (не)давать им грант, определять их должностной статус и даже увольнять. Однако именно это и произошло в России, где библиометрические показатели, получив поддержку в высоких кабинетах и спущенные затем «по вертикали власти» вниз, стали доминировать при оценке деятельности ученых, превратившись в кнут для одних исследователей и в пряник для других. В результате мы получили настоящую «лысенковщину» в управлении наукой, которая уже нанесла большой вред развитию науки в нашей стране.

Задача данной статьи – еще раз указать на то, что основанная на формальном использовании библиометрических методов федеральная политика России в сфере науки неадекватна и нуждается в скорейшем исправлении.

Важно подчеркнуть, что высказанные нами соображения относятся лишь к фундаментальным и поисковым прикладным исследованиям в открытом гражданском секторе науки. В военном и коммерческом секторах действуют другие критерии, в принципе не совместимые с библиометрией (закрытость информации из-за ее военной или коммерческой секретности, оценка реальной эффективности полученных результатов, потенциальная доходность от их внедрения, патенты вместо публикаций и т. д.).

В связи с научным профилем журнала «Биосфера», а также самих авторов (оба биологи) мы приводим примеры преимущественно из сферы биологии и медицины.

¹ “<...>an important lesson, particularly these days – it doesn’t matter where you publish; it matters what you publish” [107: 4094].

¹ См. History of citation indexing (<https://clarivate.com/webofscience-group/essays/history-of-citation-indexing/>).

Кратко о наукометрических индексах

В 1955 году Юджин Гарфилд [65] в статье, опубликованной в журнале *Science*, предложил «библиографическую систему для научной литературы», которая, по его мнению, могла бы помочь элиминировать некритическое цитирование сомнительных сведений. Эту «систему» он назвал *индекс цитирования* (*citation index*). Позднее на этой основе им была представлена концепция *импакт-фактора* [66, 67, 69, 71]. По мнению Ю. Гарфилда, цитирование статей можно использовать для оценки качества журналов и востребованности результатов научных исследований. В результате появился так называемый *индекс научного цитирования* (*Science Citation Index, SCI*), который начал издаваться в печатном виде с 1964 года (многочисленные толстые тома можно увидеть, например, в Библиотеке Академии наук, Санкт-Петербург).

В 1975 году Ю. Гарфилд после обработки более 4,2 миллионов ссылок, сделанных в 1974 году в 400 000 статей, которые были опубликованы в более чем 2400 журналах, создал библиометрический показатель, получивший название *журнальный импакт-фактор* (*Journal Impact Factor, JIF*).

Вывод, к которому пришел Ю. Гарфилд, был довольно прост: чем чаще цитируются статьи некоего журнала, тем в большей мере научное сообщество будет считать этот журнал носителем научной информации. Таким образом, цитирование может стать *индикатором* использования научной литературы. Статьи действительно резко различаются по своему цитированию. Считается, что примерно 80% всех ссылок приходится лишь на 20% статей. Из 38 миллионов статей, процитированных в 1900–2005 годах, только 0,5% цитировались более 200 раз. Половина статей не цитировалась вообще [69].

С 1995 года интерес к этому индикатору и его производным начал расти по экспоненте. Однако довольно быстро последовала критика со стороны других исследователей (см. ниже). Будущее показало, что не всё так просто [44, 92].

В 1992 году частный Институт научной информации, созданный Ю. Гарфилдом (*Eugene Garfield Associates Inc.*), после финансовой неудачи был приобретен корпорацией *Thomson*². Новый инвестор оценил

² Для справки: канадская корпорация *Thomson* осуществляла консалтинговые услуги по ведению эффективного бизнеса в нескольких областях (законодательство, налоги, соблюдение нормативных требований, взаимосвязи с правительственными органами и средствами массовой информации). Имела четыре подразделения: *Thomson Legal & Regulatory*, *Thomson Financial*, *Thomson Learning* (образование) и *Thomson Scientific, Reference & Healthcare* (информационный бизнес в науке и медицине). После покупки лондонской компании *Reuters Group* в 2008 году была преобразована в транснациональную медиакорпорацию *Thomson Reuters* (см. <http://www.fundinguniverse.com/company-histories/the-thomson-corporation-history/>). В 2011 году в рам-

значение информации, которая может быть получена на основе более полного анализа рефератов научных публикаций, и, используя доступные к тому времени возможности Интернета и вычислительных систем, создал на основании идеи Ю. Гарфилда³ поисковую систему под названием «*Сеть науки*» (*Web of Science*, далее – *WoS*, в первоначальной версии *Web of Knowledge* – «*Сеть знаний*»). Финансовый проект оказался очень успешным, так как *WoS* получила большую популярность в научном и особенно в околонаучном сообществах (администрации, издатели, фонды и т. д.).

Журнальный импакт-фактор представляет собой также количественную характеристику, которая оценивается каждый год, но за прошедшие 5 лет. Она динамична и может как увеличиваться, так и уменьшаться. Фактор рассчитывается на основе отношения общего числа цитирования статей из журнала к общему числу опубликованных рецензированных научных статей в нем за тот же период. Таким образом, если за прошедшие 5 лет в журнале опубликовали что-то действительно значимое и цитируемое, то формальный рейтинг журнала растет.

Однако проведенные исследования выявили отсутствие взаимосвязи между рейтингом журнала и реальной ценностью опубликованной в нем статьи [63]. О критике недостатков импакт-фактора и других количественных показателей см. ниже.

Поскольку разные традиции цитирования трудов коллег также отражаются на численных показателях фактора воздействия журнала, то в *WoS* было введено понятие *квартиля*, в который попадает импакт-фактор журнала в конкретной области науки. Он рассчитывается следующим образом: все журналы, зарегистрировавшиеся как публикующие статьи в данной области исследований, выстраивают в ранжированный список от самого большого значения импакт-фактора к самому низкому. Затем список делят на четыре равные части. Журналы с самыми высокими показателями в данной области науки попадают в первый квартиль (первую четверть, Q1), а с самыми низкими – в четвертый (Q4).

Такая система более гибко отражает уровень журнала, но она, как и численный показатель импакт-фактора, не имеет никакого реального отношения к конкретной публикации, которая может быть как значимой, так и незначимой и не цитируемой, хотя и опубликованной в высокорейтинговом журнале за деньги.

как корпорации было создано подразделение *Intellectual Property & Science*, которое было продано в 2016 году за 3,5 миллиарда американских долларов. Новая независимая компания получила название *Clarivate Analytics*.

³ Сам Ю. Гарфилд также перешел в *Thomson Scientific*, став руководителем этого подразделения (см. например [69, 70]).

С 1997 года корпорация Thomson Reuters начала активное продвижение своих научно-информационных инструментов в разных странах, включая Российскую Федерацию и страны постсоветского пространства, что в итоге принесло ей немалый доход.

В 2011 году в рамках корпорации было создано подразделение Intellectual Property & Science, которое успешно коммерциализировало применение простых количественных показателей и было продано в 2016 году за 3,55 миллиарда долларов США [74]. Новая независимая компания, получившая название Clarivate Analytics и впоследствии переименованная в Clarivate, стала управлять базами данных, информационными системами и коллекциями по интеллектуальной собственности, получая доход от подписки. Clarivate Analytics продолжила публиковать ежегодный Journal Citation Reports (JCR), который ранее был частью журналов Science Citation Index и Science Citation Index Expanded, издававшихся Ю. Гарфилдом. В качестве уже самостоятельного издания JCR публикует сведения о научных журналах в области естественных и общественных наук и их импакт-факторе, а с 2023 года также данные о журналах в области гуманитарных наук и искусств. Эти сведения включаются в *WoS*.

В настоящий момент Clarivate находится в совместном владении канадских и гонконгских инвесторов. Она дополнила базу данных *WoS* целой серией новых инструментов, в том числе путем покупки австралийского ресурса *Publons*, который реферирует экспертную деятельность рецензентов в периодических научных изданиях. Этот показатель может оценивать значимость трудов ученого по косвенному показателю его участия в экспертизе работ других исследователей, но он также очень зависим от конкретной области знаний.

Идею создать платную базу данных, объединяющую библиографическую и реферативную информацию, подхватило одно из крупнейших в мире транснациональных издательств Elsevier⁴, которое в 2004 году

⁴ Elsevier – одна из крупнейших в мире транснациональных издательских корпораций со штаб-квартирой в Амстердаме (Нидерланды) и филиалами в Великобритании, США, Бразилии и других регионах. Основана в 1880 году в Роттердаме. В 1951 открыла офис в Хьюстоне, в 1962-м – в Лондоне и Нью-Йорке. В 1979 году превратилась в Elsevier Scientific Publishers. В 1993 году после слияния с британской Reed International (издание журналов, книжная торговля) стала называться Reed Elsevier, а в феврале 2015-го после ребрендинга преобразовалась в RELX. Контролирует 16% мирового рынка изданий в области науки, технологий и медицины. В 2022 году Elsevier издавала более 2800 научных журналов; ежегодно выпускает около ¼ всех статей, публикуемых в мире. К собственному старинному издательству “Elsevier” нынешняя корпорация прямого отношения не имеет, поскольку то закрылось еще в 1710-х годах. Более 80% выручки корпорации составляет подписка на журналы от университетов. Проводит жесткую политику повышения цен на журналы и статьи, которые в 2000-х годах были почти в 6,5 раза выше средних. В 2012 году выруч-

выпустило свою реферативную систему *Scopus* с платным доступом к аналитическим инструментам. Конкурируя с компанией Clarivate и бросив вызов гегемонии *WoS* и журнальному импакт-фактору, унаследованному ею от корпорации Thomson Reuters, издательство Elsevier запустило 8 декабря 2016 года свой журнальный индекс *CiteScore*. Он основывается на данных, находящихся в базе данных *Scopus* (22 000 журналов, то есть в два раза больше, чем у конкурентов), и учитывает данные за 3 предшествующих года, а не за 2, как в *Journal Citation Reports* [138]. Данные обновляются ежегодно.

Сопоставление показало сходство *Scopus* и *WoS* по ранжированию одних и тех же журналов, но значения импакт-фактора оказались выше в первой базе, по крайней мере, в области экологии [75] и инженерии [53]. Однако анализ 20 ведущих журналов по экономике выявил существенные расхождения как в рангах, так и в импакт-факторе одинаковых журналов [109]. В области онкологии *Scopus* учитывает больше журналов национального уровня, причем не только на английском языке и с меньшим импакт-фактором, чем *WoS*; имеются также различия в ранжировании стран между этими двумя журнальными индексами [95].

Кроме того, в подсчете индекса *CiteScore* используются все категории публикаций в журнале, а не только исследовательские статьи, что приводит к понижению импакт-фактора и ранга журнала по сравнению с *WoS*, особенно для высокорейтинговых изданий, как, например, журнал *Lancet*, широко известный в медицине. Полагают, что в гонке за импакт-фактором это будет толкать редакторов журналов к сокращению числа «второстепенных» статей («от редактора», «письма в редакцию», «хроника» и т. д.), которые цитируются гораздо реже, или вытеснять их из самих журналов на вебсайты [138].

Судя по сайту Российского центра научной информации, показатель *SJR* используется в России, по крайней мере, с 2017 года по 2023⁵.

Другие важнейшие библиометрические показатели

Индекс Хирша (h-индекс) – показатель, предложенный американским физиком Хорхе Хиршем (Jorge Hirsch) для оценки научной продуктивности физиков в качестве альтернативы другим библиометрическим индексам [81, 82]. Для его расчета нужно выстроить все публикации автора в порядке убывания числа ци-

ка Elsevier достигла \$2 700 000 000 (прибыль более \$1 миллиарда). В 1997 году запустила ScienceDirect, открытый онлайн-депозитарий для электронных статей и книг. В 2013 году приобрела британскую компанию Mendeley, до этого бывшую открытой платформой для журналов (см. <https://en.wikipedia.org/wiki/Elsevier>).

⁵ См. https://journalrank.rsci.science/ru/info/#section_9; <https://journalrank.rsci.science/ru/record-sources/indicators/25649/?sort=Year&order=Desc>.

тирования. Номер той публикации, которая по порядку будет последней в списке и число цитирований которой будет равно или больше ее порядкового номера, и будет принят за индекс Хирша данного автора. Рассчитывается такой индекс каждый год.

Х. Хирш [82] полагал, что с помощью разработанного им показателя можно не только оценить прошлую продуктивность работы исследователя, но и предсказывать будущую. Индекс имел ряд преимуществ перед другими библиометрическими показателями, став им альтернативой, был воспринят положительно [45] и получил быстрое распространение (в России во многом благодаря административным мерам). Тем не менее на некоторые его проблемы указывал уже сам автор [81].

Во-первых, это – зависимость от длительности активной работы исследователя и от возраста его публикаций (в годах). По мере развития научной карьеры и времени, прошедшего со дня выхода публикаций, показатель только увеличивается. Таким образом, это автоматически приводит к недооценке эффективности молодых исследователей.

Во-вторых, существенным недостатком индекса является также его зависимость от области знания. Так, в целом значения индекса Хирша в биологических науках значительно выше, чем в физике [81]. Его медианное значение у 10 «топ»-ученых среди биологов равен 147, а среди физиков – лишь 75. Различия могут проявляться даже внутри научных дисциплин или их подразделений [85]. Это связано не только с разными традициями цитирования работ коллег в различных областях, но и с различным числом исследователей, работающих в разных областях. Очень специализированные узкие направления исследований не могут считаться менее значимыми, хотя индекс Хирша не покажет в них хороших значений. Однако в истории науки известно множество примеров, когда именно в таких якобы маргинальных областях закладывались основы для прорывных научных достижений.

В-третьих, значения индекса Хирша зависят от базы данных, которая используется для подсчета. Так, результаты, полученные на основе *WoS*, *Scopus* или *Google Scholar*, различаются [45, 85].

В-четвертых, значения индекса Хирша могут только повышаться, но не падать. Таким образом, научный сотрудник, больше не публикующий статей или переставший работать, тем не менее формально сохраняет достигнутый ранее уровень [21, 49].

Наконец, еще одним существенным недостатком индекса Хирша является влияние самоцитирования [119, 144], которое может приводить к заметному завышению («инфляции») показателя. Имеется также неэтичная возможность его искусственного повышения. Если заранее знать, что этот параметр будет служить для оценки эффективности труда ученого, то его можно повысить разными способами, в том числе за

счет самоцитирования и/или навязывания цитирования своих работ при осуществлении экспертной деятельности [21].

Индекс Хирша также губителен для написания книг (монографий), поскольку те не дают особого вклада в значение индекса и скорее лишь вредят ему [21].

Как и в случае других показателей, желание повысить значение индекса Хирша может стать дополнительным фактором для аморального поведения, например, требования включать лица, занимающие административные должности, в число соавторов публикаций. Не секрет, что в нашей стране были и есть директора институтов и академики, публикующие научные статьи практически каждый день. Это легко отследить с использованием таких реферативных инструментов, как показатели публикационной активности автора с учетом самоцитирования, цитирование соавторами, цитирование сотрудниками организации (подчиненными). В случае индекса Хирша это явно будет характеристикой со знаком «минус» в оценке деятельности такого «ученого», использующего административные рычаги для улучшения своих показателей.

На рынке околонуточных услуг предлагается повысить индекс Хирша при цене 500 рублей за цитирование. Как значится в объявлении коллегии независимых авторов «Научник»: отправьте заявку, и уже сегодня наши авторы начнут цитировать ваши научные труды (см. [26]).

Для устранения погрешностей в индексе Хирша было предложено восемь его вариантов. Это индексы a , ar , g , $h(2)$, h_w , m , m quotient, r , каждый из которых имеет свои достоинства [49]. Однако сам Х. Хирш [82] оценивал их скептически, считая, что предложенный им показатель (h) в комбинации вместе с общим числом цитирования лучше и может предсказывать будущие достижения ученого.

Хотя какие-то корреляции имеются, все же оценивать талант ученого по его индексу Хирша равнозначно выбору вина по цене бутылки или качества швейцарского сыра по диаметру дырок [21].

Индекс авторского превосходства (Author Superiority Index, ASI) был предложен в дополнение к индексу Хирша и другим показателям цитирования [111]. Этот индекс в свою очередь базируется на *индексе процентильного ранга (Percentile Rank Index, PRI)*, который вычисляется для каждой статьи автора в виде ранга данной статьи среди статей, опубликованных в том же журнале в том же году. Данные берутся из *WoS*. Соответственно, в качестве индекса авторского превосходства предлагается использовать количество статей автора, индекс процентильного ранга которых превышает показатели 75, 95 или 99.

Период полужизни цитирования (cited half-life). Популярность любой публикации, кроме вечной классики, имеет свои ограничения. Данный показатель изме-

ряет скорость падения цитирования со временем. Он выражается в сроке (годы), за который число цитирований статьи уменьшается на 50% при исчислении от года ее опубликования. Таким образом можно количественно оценить, как долго журнальная статья продолжает привлекать к себе внимание в виде ссылок на нее. У небольших публикаций (заметки, краткие сообщения, письма в редакцию) период полужизни цитирования обычно короче, чем у более крупных [52]. В физике «непопулярные» статьи начинают цитироваться вскоре после их публикации, но затем исчезают из поля зрения коллег. В среднем «возраст» (длительность) цитирования составляет 6,2 года, реже для высоко цитируемых статей (более 100 ссылок) достигает 11,7 лет, а в исключительных случаях для статей, имеющих более 1000 ссылок, – 18,9 лет [113].

Аналогичный показатель, названный «периодом полураспада опубликованных идей», был предложен Г.С. Розенбергом [26: 59]. В России оба варианта данного показателя не используются.

Деятельность коммерческих наукометрических платформ, с одной стороны, способствовала улучшению работы аналитических инструментов и развитию научной мысли, а с другой стороны, она навязчиво вошла в жизнь ученых по всему миру. Отныне их труд стали оценивать на основе формализованных критериев, а не реальных результатов. Это показалось очень удобным для бюрократической оценки результативности исследователей. Научную деятельность трудно формализовать, и ее бывает сложно по достоинству оценить даже специалистам. Поэтому введение критериев на основе индексов цитирования самого ученого (индекс Хирша) и авторитетности периодических научных изданий, в которых публикуют его работы, в соответствии со значением импакт-фактора, упрощало задачи чиновников, оценивающих эффективность расходования средств, но мало понимающих в специфике научных исследований.

Библиометрические базы данных

Помимо *WoS* и *Scopus*, существуют и другие библиометрические базы данных, объем которых больше, чем у *Scopus*.

*Dimensions*⁶ – база данных, созданная в 2016 году и принадлежащая британской информационной компании Digital Science & Research Solutions Inc.⁷ Начав в 2010 году с пяти сотрудников как технический отдел Nature Publishing Group/Macmillan, компания выросла до глобальной и в настоящее время представлена в 28 странах Северной Америки, Европы и в Австралии с главными офисами в Лондоне, Бостоне и Яссах (Румыния). *Dimensions* позиционируется как наиболее

продвинутой и наиболее крупной база данных, связанная с исследованиями во всех сферах науки. Она содержит более 140 миллионов публикаций, более 1,2 миллиарда ссылок, находящихся в открытом доступе на платформе <https://app.dimensions.ai/>, 160 миллионов патентов и др. Для каждой публикации даются сведения о цитируемых и цитирующих публикациях, о связанных с нею грантах и поддерживающих фондах, о метрике, связанных патентах, клинических испытаниях (для медицинских работ) и т. д. [79].

По данным на май-июнь 2020 года [124], *Dimensions* (77 471) индексирует на 82% больше журналов, чем *WoS* (13 610), и на 48% больше, чем *Scopus* (40 385). Почти все публикации *Scopus* имеются и в *Dimensions*; между обеими системами существует положительная корреляция в подсчетах индексов цитирования [136]. Осенью 2020 года через РФФИ был открыт тестовый доступ к *Dimensions* (<https://podpiska.rcsi.science/news/52>).

Международная ассоциация Crossref (Нью-Йорк, США)⁸ зарегистрирована как некоммерческая организация и объединяет более 19 000 членов из 150 стран (издатели, научные учреждения, общества, библиотеки, фонды и т. д.). С 2000 года предоставляет так называемый цифровой идентификатор объекта (digital object identifier, doi), который присваивается статьям. В июне 2018 года на основе данных Crossref был запущен так называемый индекс *COCI, the OpenCitations Index of Crossref open DOI-to-DOI citations* [78]. В октябре 2023 года все прежние данные по цитированию были сведены вместе в одну базу данных, которая включает 1 463 920 523 ссылки и 77 045 952 библиографических источника⁹.

Google Scholar, которую по-русски называют «Академия Google» (см. Википедия), была создана по инициативе двух инженеров компании Google и запущена в ноябре 2004 года. Эта поисковая система предоставляет полные тексты и метаданные научных публикаций, включая статьи в рецензируемых журналах, статьи в сборниках и материалах конференций, книги, препринты, диссертации, отчеты и пр. Считается, что база данных *Google Scholar* охватывает 90% (около 100 миллионов) англоязычной научной продукции и что в ней доступны полные тексты от 40 до 60% научных статей.

Некоторые эксперты критикуют *Google Scholar* за всеядность и включение даже так называемых *мусорных* и *хищных* (*predatory*) журналов в индексирование. Однако такие журналы можно найти и в других поисковых системах¹⁰. *Google Scholar* индексирует даже презентации (PowerPoint presentations, *.ppt) и вордовские тексты (Microsoft Word documents, *.doc(x)). Так-

⁸ <https://www.crossref.org/membership/terms/>;

⁹ <https://opencitations.net/index/coci>

¹⁰ См. дискуссию <http://scholarlyoa.com/2014/11/04/google-scholar-is-filled-with-junk-science/>

⁶ <https://www.dimensions.ai/>; [https://en.wikipedia.org/wiki/Dimensions_\(database\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dimensions_(database))

⁷ digital-science.com; https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Science

же призывают с осторожностью использовать подсчет цитирования на основе этой базы данных, которую обвиняют в неаккуратности и которой можно манипулировать, особенно в отношении импакт-фактора журналов и индекса Хирша, которые сами по себе являются плохими показателями качества научных публикаций [46, 61, 76, 84, 86, 89, 96].

В отличие от коммерческих баз данных (*WoS* и *Scopus*), несомненными положительными чертами *Google Scholar* являются бесплатная возможность находить ссылки на индексируемые публикации, а также не навязывание своих оценок пользователям. «Всеядность» предоставляет исследователю свободу выбора, позволяя ему самому решать, какая статья (журнал) хорошая, а какая плохая. Партнерские отношения были установлены между *Google Scholar* и РИНЦ, который поставляет информацию о публикациях в российских журналах [10].

Microsoft Academic. В 2006 году корпорация Microsoft начала создавать свою научную поисковую систему *Microsoft Academic Search*, но остановила работу в 2012-м. В 2016-м корпорация стала формировать новую платформу, получившую название *Microsoft Academic Services*, которая формально была выпущена в июле 2017-го. Этот проект задумывался как открытый конкурент *Google Scholar* и завоевал широкую популярность как источник метаданных публикаций. *Microsoft Academic* также является свободной (бесплатной) поисковой системой в области научных исследований, включает индекс цитирования. Однако, в отличие от *Google Scholar*, она обеспечивает массовый доступ к своим данным через интерфейс прикладного программирования, *Applications Programming Interface (API)*. Как и у всех других поисковых систем, имеется ряд недостатков [135, 139]. В конце 2021 года *Microsoft Academic* вывели из эксплуатации, и на ее основе была создана поисковая система *OpenAlex* (см. ниже).

Подсчеты показали, что *Google Scholar* является наиболее всесторонней базой данных, а *Dimensions* образует хорошую альтернативу *WoS* и *Scopus*. Сравнительный анализ достоинств и недостатков этих и других баз данных и поисковых систем можно найти в серии статей [например 10, 18, 60, 61, 76, 77, 89, 98, 99, 124, 128, 135, 136]. Большой список наиболее крупных научных баз данных и поисковых систем представлен в https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_academic_databases_and_search_engines. Приведем здесь сведения о еще нескольких, с которыми сотрудничают в России.

ScImago Journal Rank (SJR2 indicator) – индекс, применяемый для оценки престижности (популярности) научных журналов. Он разработан группой *Scimago*, состоящей из представителей Высшего совета научных исследований (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC) и ряда университетов Испании. Для

оценки ранга журнала используются данные *Scopus*. При подсчете индекса (ранга) журнала учитывается среднее взвешенное число ссылок в год на статью, опубликованную в журнале, за три предыдущих года. Оцениваемые журналы разделены на четыре группы: биологические науки, физические науки, социальные науки, куда входят также искусство и гуманитарные науки, и медицина [72]. Судя по сайту Российского центра научной информации, показатель *SJR* используется в России, по крайней мере, с 2017 года (по 2023)¹¹.

The Lens является флагманским проектом австралийской независимой некоммерческой организации Cambia (Канберра). За 20 лет своего развития эта открытая и бесплатная база данных накопила свыше 268 000 000 научных публикаций, более 153 000 000 патентов, а также метрики и метаданные об авторах и организациях. Более того, в базе есть сведения о более чем 489 000 000 биологических последовательностей (сиквенсы ДНК, РНК и белков), раскрытых в патентах. Партнерами агрегатора являются *Microsoft Academic*, *CrossRef*, *OpenAlex*, *PubMed* и др. (см. <https://about.lens.org/>). Данные базы используются профильными российскими организациями [18].

OpenAlex – этот проект появился в 2022 году и принадлежит некоммерческой организации OurResearch. Название связано с Александрийской библиотекой в Древнем Египте. После закрытия проекта *Microsoft Academic Graph* небольшой стартап OurResearch использовал базу *MAG* как основу для своего проекта. К 2023 году *OpenAlex* завоевал популярность, став бесплатным и открытым каталогом научных статей, журналов, исследователей и учреждений со всего мира. В базе уже собрано более 250 миллионов записей о публикациях из 230 тысяч источников, 1,9 миллиарда ссылок. Таким образом, *OpenAlex*, хотя и с большим отставанием, занял 2-е место среди крупнейших баз данных, сильно опередив *CrossRef*, *Dimensions*, *Scopus* и *WoS*. Как и *Google Scholar*, *OpenAlex* не занимается экспертным отбором источников, предпочитая широкий охват источников. Индексирует не только статьи, но и препринты, не прошедшие рецензирование. Система рассчитывает среднее число цитирований за два года, индекс Хирша и индекс i-10 (число публикаций с 10+ цитированиями) для авторов, источников и организаций¹². Данные базы используются профильными российскими организациями [18].

Semantic Scholar – поисковая система, выпущенная в ноябре 2015 года. Принадлежит Алленовскому институту искусственного интеллекта (The Allen Institute for Artificial Intelligence, AI2). Начав с индексирования статей в области компьютерных исследований, наук о Земле, нейронауки, а затем биомедицины, в насто-

¹¹ См. https://journalrank.resi.science/ru/info/#section_9; <https://journalrank.resi.science/ru/record-sources/indicators/25649/?sort=Year&order=Desc>

¹² См. <https://openalex.org/about>; <https://sciguide.hse.ru/sources/openalex/>

ящее время система накопила более 218 миллионов публикаций из всех наук. Для каждой статьи приводится аннотация, данные по цитированию и его динамике, а также ссылка на ресурс, где можно найти полный текст статьи. В 2020 году базу данных посещало до 7 миллионов пользователей в месяц ([64]; <https://www.semanticscholar.org/>). Данные базы используются профильными российскими организациями [18].

Нужно заметить, что научными публикациями являются не только статьи в реферируемых рецензируемых научных изданиях, но и различные другие виды публичного представления результатов научных исследований. К самым объемным и значимым из них относятся диссертационные исследования и монографии. Однако они в малой степени учитываются коммерческими реферативными инструментами *WoS* и *Scopus*, поскольку косвенно обе эти системы связаны с коммерческими издательствами периодической научной литературы, и их деятельность была направлена среди прочего на создание предпосылок для притока авторов в свои издания.

Сужение спектра публикаций, признанных на основе формальных показателей коммерческих инструментов качественными, лишь журналами создает предпосылки к недобросовестной конкуренции издательств, искажению роли достижений исследователей целых регионов, а также для несанкционированного использования чужих идей не совсем чистоплотными представителями научного сообщества.

Истории известны примеры в некоторых областях науки, когда коррумпированные группы специалистов, облеченные определенными регалиями, узурпировали право решать, какие из результатов научных исследований достойны быть обнародованными, а какие нет, препятствовали публикации прорывных работ других авторов, о которых мы сейчас знаем либо по воспоминаниям современников, либо по отдельным отрывочным публикациям коротких тезисов.

Примером сдерживания развития научной мысли может служить драматическая история с открытием РНК-интерференции у петуний. Только после переоткрытия этого феномена у круглых червей и вручения Нобелевской премии другим исследователям стало известно, что феномен уже был открыт ранее. Однако его авторы никак не могли найти журнал, который взялся бы опубликовать их результаты, так как они казались всем невероятными и противоречащими здравому смыслу. Открытие Ричарда Йоргенсена, сделанное в 1980-е годы, не было сразу по достоинству оценено рецензентами уважаемых научных изданий, а сейчас мы наблюдаем бурное развитие фармакологии на основе использования антисмысловых РНК [134].

Таких примеров в истории науки на рубеже XX и XXI веков, особенно с учетом так называемого гипер-

рецензирования¹³, стало появляться много. Дополнительное стимулирование коммерциализации научных изданий, спровоцированное прямой взаимосвязью между получением финансирования на исследования и числом публикаций, привело к существенной финансовой нагрузке на авторов.

Критика наукометрических показателей и отказ от индексов

Одна из главных опасностей библиометрических индексов – их кажущаяся простота и ясность, делающие их поэтому особенно привлекательными для бюрократии. Действительно, зачем анализировать качество исследования (содержание статей) и вникать в реальный вклад ученого в науку, когда можно сопоставить цифры и принять решение: у кого баллов больше, тот и лучше. Однако, как говорит старая русская поговорка, подчас «простота хуже воровства»; впрочем, одно не отменяет другое, особенно в нечистоплотных руках.

Нередко утверждается также, что в индексах якобы содержится объективность, поскольку при их подсчете нет влияния человеческого фактора (пристрастий и т. д.). Казалось бы, чем больше цитирований, тем публикация лучше. Тогда что важнее: «Происхождение видов» или открытие двойной спирали ДНК? По данным Google Scholar на 2 февраля 2016 года, книгу Чарлза Дарвина процитировали 32 556 раз, а статью про ДНК почти в три раза меньше, 11 551 раз [83]. Означает ли это, что последняя статья почти в три раза хуже? Если голова не в порядке, то формально «да». Но именно такова логика чиновников.

Японский хирург Хакару Хасимото (1881–1934) опубликовал за всю карьеру лишь одну статью, основанную на 4 клинических случаях. Этого хватило, чтобы обессмертить его имя, так как он открыл первую клеточно-опосредованную аутоиммунную болезнь человека. Процитировали его впервые лишь много лет спустя, когда осознали, что эта болезнь массовая и повсеместная [34]. Цитирование (или нет) статей ученого еще не говорит о его качестве, о чем свидетельствует наличие нецитируемых публикаций даже у нобелевских лауреатов [73].

Сопоставим также вклад в науку двух советских биологов: профессора С.С. Четверикова (1880–1959) и академика Т.Д. Лысенко (1898–1976). По количеству публикаций и их цитирования последний в десятки раз превосходил первого. Однако первый остался в истории науки как один из признанных основателей эволюционной популяционной генетики, а второй – как шарлатан и погромщик генетики в СССР.

¹³ Гиперрецензирование означает получение по результатам рецензирования отрицательного заключения на основе субъективного мнения рецензента, что препятствует публикации на самом деле реально значимых результатов.

Надо также учитывать, что бывает *разное* цитирование. Ссылки на ту или иную статью часто приводятся в знак уважения кого-либо («позитивное цитирование») или формально, «в дежурном порядке», поскольку так принято («нейтральное цитирование»). Однако нередко статьи цитируются в критическом плане («негативное цитирование») для оспаривания другого мнения или приоритета [73]. Имеется также так называемое «принудительное» цитирование (coercive citation), в том числе со стороны журналов. Оно принимает разные формы и встречается среди журналов как с низким, так и с высоким импакт-фактором, вовлекает как издателей и редакторов, так и авторов разного возраста [97, 140]¹⁴.

Совсем иной вес приобретает указание, что данная статья стимулировала проведение исследования [110]. Даже сторонники цитирования как индикатора полагают, что само по себе оно не может быть надежным показателем качества конкретной статьи [40].

Цитирование статьи, помимо ее качества, может зависеть от многих факторов. Были выявлены многочисленные обстоятельства «механического» и методологического характера, влияющие на показатели [24].

Общеизвестно, что в разных науках уровни цитирования и импакт-фактора сильно различаются [42]. Так, статья по математике в среднем цитируется в 8 раз меньше, чем по молекулярной биологии или генетике [111], а в зоологии в 3 раза меньше, чем в биохимии и молекулярной биологии [70]. Огромные различия могут проявляться даже в пределах одной науки. Например, в подразделах биохимии уровень цитирования может различаться в 10 раз [121].

В связи с этим было предложено рассчитывать показатель импакт-фактора, нормализованный по рангу и выражаемый через проценти́ли (*rank-normalized Impact Factor, rniF, percentile*). Подсчет для ряда журналов из разных биологических наук выявил колебания этого показателя от 0,706 до 0,980, а с учетом физики и инженерных наук различия составили 28% [70].

Библиометрические индексы зависят также от многих других параметров, например, от скорости развития научной дисциплины, от количества пишущих и цитирующих ученых (плотность цитирования), от количества издаваемых и индексируемых журналов, от числа статей в журнале, от числа авторов на статью, от категории публикации в журнале (исследовательская статья, обзор, заметка, письмо в редакцию, хроника, некролог, рецензия), от численного соотношения этих категорий в журнале и т. д. [42, 83, 91]. Кроме того, на библиометрические показатели влияют объ-

¹⁴ В советское время навязывалось цитирование, исходя из идеологических указаний «сверху» (например, классиков марксизма-ленинизма или последнего по времени съезда КПСС). Особенно это процветало в публикациях в сфере социальных и гуманитарных наук, но к этому нередко прибегали и «понятливые» авторы из естественных наук.

ем (количество) и структура корпуса индексируемых изданий (журналов и книг). И то, и другое различны в *Scopus*, *WoS* и других базах данных.

Журналы могут сильно различаться по количеству статей, публикуемых в них за год. Так, *Journal of Biological Chemistry* в 2004 году опубликовал 6500 статей [69]. Анализ 4000 журналов показал, что в случае небольшого числа статей в году (менее 35) импакт-фактор журнала может варьировать (в любую сторону) от данного года к следующему на 40%, тогда как в более крупных изданиях (140 статей в год) колебания составляют 22%, а при более 150 статей – 15%. Однако это не означает, что первые журналы хуже [42].

На наш взгляд, это объясняет, почему многие журналы, особенно печатные, стараются втиснуть в номер как можно больше статей, сокращая их объем путем вынесения информации, нередко весьма полезной, в так называемые дополнительные материалы, доступные лишь в электронном виде. Как было показано экономистами, число статей играет важную роль в формировании цены журнала: увеличение числа статей на 10% приводит к увеличению цены журнала на 3–5% [55].

Чем в среднем больше авторов приходится на статью в журнале, тем больше его импакт-фактор [42]. Однако этот и другие параметры не позволяют дать адекватную оценку каждому из авторов статьи, не говоря уже о «незаслуженных» соавторах или «призраках» [116]¹⁵. Ясно, что одиночный исследователь может произвести статей меньше, чем коллектив авторов. В связи с этим предлагаются различные математические ухищрения для количественной оценки [110], то есть проблема оценки не упрощается, а усложняется. Существует также торговля «местами» для публикаций в журналах *Scopus* и *WoS* и соавторства в них (см. ниже).

Кроме того, существуют методы манипулирования, приводящие к увеличению импакт-фактора журнала [44, 70, 92, 96]. Хорошо известны и различного рода «подкручивания» персональных индексов цитирования статей. К ним относятся, например, сговоры по взаимному цитированию в пределах научных групп, частое цитирование или, наоборот, сознательное игнорирование тех или иных авторов, предпочтительное цитирование статей из определенных журналов, к чему подчас склоняют их редакторы, и т. д.

¹⁵ В западной литературе различают две категории нарушения этики соавторства. “Honorary” или “guest authorship” – *незаслуженное соавторство* (например, включение в число авторов статьи руководства или того, кто финансировал проект) и “ghost authorship” – *незаслуженное исключение* того, кто внес заметный вклад в исследование или написание статьи, из состава авторов. Согласно опросу 2008 года [116, 142], в среднем в британских журналах по медицине незаслуженное соавторство отмечалось в 21% статей, наивысшее в *Nature Medicine* (32%), а незаслуженное исключение в 8%, наивысшее в *New England Journal of Medicine* (11%).

Используются также манипуляции методом так называемого «журнального самоцитирования», когда редакторы в целях повышения импакт-фактора своего журнала рекомендуют авторам цитировать опубликованные в нем статьи, что было обнаружено для изданий с различным рейтингом. Тем не менее, по некоторым данным, это чаще встречается среди журналов с низким импакт-фактором, нежели с высоким [70]. В некоторых изданиях по агрономии в США и Франции журнальное самоцитирование достигало от 52 до 100% [93]. С 2008 года Thomson Reuters стал публиковать значения импакт-фактора журнала без самоцитирования (*impact factors minus journal self-cites*), а также исключать журналы с исключительно высоким самоцитированием из списка для определения импакт-фактора. Это получило название “title suppression” [102].

О различных случаях некрасивого поведения в журналах Scopus в разных странах см. также <https://en.wikipedia.org/wiki/Elsevier>.

С самого начала составление индекса цитирования (SCI) Ю. Гарфилда и его института было американоцентрично, имело англоязычную направленность и не учитывало книги [44, 121]. Языковая дискриминация приводит к более низкому уровню цитирования, например, в случае журналов на русском и немецком языках в сравнении с американскими. Средняя цитируемость для них составляла 0,37, 0,88 и 1,93 соответственно. Имеется тенденция цитировать статьи преимущественно на своем родном языке. Половина ссылок принадлежит американским авторам, которые к тому же склонны цитировать друг друга, что повышает их уровень цитирования, на 30% превышающий средний [120].

Кроме того, как известно, имеются заметные различия в устройстве науки и в культуре научных изданий в разных странах и в разных областях знаний. В США и ряде других западных стран предпочтение отдается журналам, тогда как в Европе и особенно в отечественной науке до недавних пор большое значение имели монографии, сборники и материалы конференций. Английский язык в науке стал доминировать исторически относительно недавно, лишь со второй половины XX века. В 1960–1970-х годах в естественных науках статьи на русском занимали второе место. В общественных науках французский столь же важен, как и английский [104].

В целом, публикации на национальных (не английском) языках играют существенную роль в общественных и гуманитарных науках соответствующих стран, но вне них они читаются и цитируются меньше [104]. От себя добавим, что это же относится к статьям по биологии и медицине. Поэтому выбор языка публикации желательно определять в зависимости от того, на кого она рассчитана. Национально-ориентированные статьи и книги, связанные с

изучением России (природа, культура, общество и т. д.), на наш взгляд, предпочтительнее печатать на русском языке.

В быстро развивающихся науках (например, физика, биохимия, молекулярная биология) появление новых данных происходит с такой скоростью, что писать монографию (или крупный обзор) становится бессмысленным, так как пока она будет опубликована, многое в ней может устареть. Поэтому с учетом жесткой конкуренции исследователи стараются напечатать статью в быстро издающемся журнале. Совсем иная картина в так называемых «музейных» научных дисциплинах. В гуманитарных науках, где российских научных журналов не так много, книги всегда ценились очень высоко, явно выше, чем журнальные статьи. Это же относится и к монографиям в классических направлениях естествознания (ботаника, зоология, геология)¹⁶.

Значимость не только журнальных статей, исключительность которых активно продвигается заинтересованным издательским лобби, публикующим журналы, понятна многим и отмечалась не раз. Приведем мнение генерального директора Научной электронной библиотеки eLibrary.ru Г.О. Еременко:

«Общественные науки отличаются от них [естественных. – Л.Б., А.С.] довольно сильно по разным параметрам: по практике цитирования, по спектру публикационной активности, по типам публикаций, числу соавторов, хронологии ссылок. С общественными науками методически сложнее работать в плане оценки значимости работы по цитированию. По ряду причин критерии здесь отличаются от тех, что применяются в естественных науках. Но эти особенности есть не только у общественных наук. Каждое направление имеет свои отличия: где-то основным результатом научной деятельности стала публикация в журнале или сборнике статей, где-то – выступление на конференции, в технических науках большое значение имеют патенты, а в общественных науках часто более значимыми являются монографии. Не учитывать это нельзя» [10: 146].

Одной из спорных стала проблема так называемого «окна цитирования» (citation window), то есть срока цитирования статей после их опубликования [42]. Один год явно не подходит по технологическим причинам (период от подачи статьи до ее публикации часто более одного года). Поэтому первоначально подсчитывали число цитирований за два года, потом стали за три и за пять. Очевидна условность этого па-

¹⁶ С 2005 года компания Clarivate стала индексировать и книги (см. <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/web-of-science-core-collection/book-citation-index/>).

метра, который будет сильно зависеть от скорости опубликования. Российские журналы, преимущественно цитируемые самими русскими, имеют низкий импакт-фактор, в том числе и по причине длительного срока от момента подачи до опубликования статей [120, 121]. В случае электронных журналов этот срок гораздо короче, чем у традиционных бумажных. Неудивительно, что среднее число ссылок на статью у первых в 2,6 раза выше, чем у вторых [25].

Однако использование «окон цитирования», независимо от их условно принятой «ширины» (длительности), во многих случаях не позволяет адекватно оценивать реальный уровень цитирования. Даже в такой быстро развивающейся науке, как физика, имеются статьи, получившие название *спящие красавицы*, которые после долгого забвения вдруг неожиданно начинают интенсивно цитироваться [12, 113]. Так, спектроскопия ядерного эффекта Оверхаузена (NOESY) считается одним из наиболее важных изобретений в области магнитного резонанса. Однако идея этого метода существенно опередила свое время, и потребовалось много лет, чтобы научное сообщество подхватило ее и стало цитировать. С точки зрения влияния на импакт-фактор журнала публикация статьи была полным провалом [21].

Можно привести пример и из биологии. Молодой ученый Фрэнсис Пэйтон Раус (1879–1970) опубликовал в 1913 году статью о переносе опухолей кур бесклеточными филтрататами гомогената ткани, которую никто десятилетиями не замечал, но за которую через 55 лет он получил Нобелевскую премию, хотя давно бросил заниматься этой тематикой [34].

В систематике (таксономии), изучающей биологическое разнообразие, публикации вообще не стареют, что обусловлено необходимостью знания всей предыдущей литературы (после 1757 года) из-за действия основополагающего принципа приоритета. Более того, качество журнала никак не влияет на цитирование статьи с описанием вида или таксона другого ранга, которое определяется совсем иными причинами, в первую очередь – наличием исследований по данной группе растений или животных. Это означает, что в области таксономии любые рейтинги и импакт-факторы журналов или статей изначально лишены смысла, так как важен лишь факт опубликования данного вида в любом издании в соответствии с принятыми в таксономии правилами¹⁷.

Нередко полагают, что импакт-фактор журнала зависит лишь от нескольких высоко цитируемых статей. Это так, если использовать в качестве показателя среднее арифметическое значение цитируемости статей. Однако статистический анализ 500 журналов из

пяти разных категорий выявил очень высокую корреляцию ($r = 0,976–0,997$ для естественных наук) между импакт-фактором и показателем цитируемости медицинной статьи. Поэтому полагают, что импакт-фактор отражает цитируемость большинства статей журнала [70, 118]. Любопытно, что наименьшую корреляцию обнаружили для статей из категории “Information Science and Library Science” ($r = 0,879$).

Тем не менее статистический анализ показал, что журнальный импакт-фактор вовсе необязательно отражает качество той или иной конкретной статьи и не коррелирует с частотой цитирования индивидуальной статьи. В любом журнале встречаются как мало, так и часто цитируемые статьи [120]. Так, число ссылок в 2020 году на статьи, опубликованные в журнале Nature (2017), варьировало от 18 до 3240, то есть частота цитирования статьи может очень сильно отличаться от среднего цитирования [118]. Nature, несомненно, имеет более высокое значение импакт-фактора, чем The EMBO Journal, но статей с нулевым цитированием в первом журнале гораздо больше, чем во втором [112].

Более того, анализ журналов в области биологии, медицины, психологии и кристаллографии показал, что обычное мнение, будто бы любая статья, опубликованная в престижном журнале, заведомо будет хорошего качества, ошибочно. Статьи в высокоранговых журналах нередко содержат ошибки, могут публиковать неверные результаты, что особенно опасно в сфере медицинских исследований, так как это может угрожать жизни людей [51]. Поэтому полагаться только на импакт-фактор или ранг журнала нельзя.

С 2011 года отмечается, что в базах данных стало увеличиваться число статей из электронных журналов и материалов конференции, не прошедших достаточную экспертную оценку. В связи с этим Национальный центр по научной и инженерной статистике США (National Center for Science and Engineering Statistics, NCSES) начал дополнительную фильтрацию данных Scopus. Так, было удалено около 2% статей, опубликованных до 2011 года, около 4% (более 88 000) статей в 2011-м и 5–6% (от 111 000 до 145 000) статей ежегодно с 2012 по 2014 год [105: 56].

Если учитывать категорию публикации, то обзорные и крупные статьи цитируются чаще [40, 120], особенно в сфере биомедицины [137], «надувая» импакт-фактор журнала. Это приводит также к нецитированию первоначальных статей-источников, содержащих сведения. Кроме того, имеются статьи, которые получают признание и начинают цитироваться за пределами принятого «окна цитирования». Более того, даже нецитирование статьи вовсе не означает, что у нее нулевое влияние, zero-impact [121, 143]. Каждый исследователь, чтобы быть в курсе научных достижений, читает гораздо больше статей (и книг), чем их потом цитирует. Однако из этого вовсе не сле-

¹⁷ Один из авторов данной статьи (ЛБ) — профессиональный зоолог-систематик, член Российского национального комитета по зоологической номенклатуре.

дует, что не-процитированная публикация, особенно в случае трудов классиков науки, научных руководств или справочников, не оказывает своего влияния. Кроме того, статьи (и книги) могут привлекать внимание не только специалистов, но и более широкий круг читателей [56], которые после прочтения будут эти статьи или книги помнить. Особенно это касается изданий по медицине и биологии, а также в области гуманитарных наук и искусств.

Анализ цитирования в 2001–2015 годах более чем 660 000 исследовательских статей, изданных в 2001 году, показал, что публикации, содержащие результаты высокой новизны, в первые три года цитировались реже, чем таковые со средней или малой новизной. Это вовсе не означает, что статьи с условно малой новизной являются плохими или мало влияющими. Это лишь говорит о том, что для восприятия неожиданных результатов требуется больше времени, чем для более стандартных статей (проблема «окна цитирования»). Поэтому не удивительно, что статьи с высокой новизной результатов публикуются в журналах с более низким импакт-фактором [130].

В качестве известного нам примера приведем обнаружение в высокогорье Пакистана (Каракорум) популяций жаб, в которых и самцы, и самки оказались триплоидными. Несмотря на приведенные доказательства, ряд журналов в США и Европе отказал немецким авторам в публикации этого открытия, ссылаясь на то, что такое невозможно, как написано в любом учебнике по генетике. Поэтому статью пришлось напечатать в журнале с меньшим импакт-фактором [131]. Однако потом выяснилось, что этот уникальный вид амфибий обладает ранее неизвестным вариантом наследования, сочетающим менделевские и клональные механизмы [132]. Нам удалось найти подобные высокогорные изолированные популяции в Западных Гималаях Индии (близ Тибета), а затем на Памире и подтвердить их облигатную двуполоую триплоидию [6, 94].

Индексы цитирования, импакт-фактор и ранг журнала могут весьма различаться при использовании разных баз данных и поисковых систем: *WoS*, *Scopus*, *Dimensions*, *Google Scholar* (см. выше). Рекомендуется для большей точности использовать их комплексно, дополняя одну другой (см., например, [99]). Однако это повлечет увеличение времени на оценивание результатов.

Даже сам Юджин Гарфилд [68] пришел к выводу, что для оценки работы ученых целесообразнее было бы использовать фактическое влияние статьи (частота ее цитирования), а не импакт-фактор журнала как суррогат. Тем более что применение последнего на практике сопряжено с рядом трудностей [121]. Однако индекс цитирования также имеет множество своих недостатков, как было показано во многих исследованиях.

Одна из проблем – это *авторское самоцитирование*, которое составляет до 36% всего массива цити-

рования при «окне» в 3 года и влияет на импакт-фактор журнала. Например, в Норвегии оно по-разному выражено в разных научных областях: минимально в журналах по клинической медицине (17%), экологии (19%), зоологии и ботанике (20%) и максимально в химии и астрофизике (по 31%), что не получило объяснения [39]. Самоцитирование неодинаково в журналах с разным уровнем импакт-фактора [24, 43]. В обычных статьях доля самоцитирования равна 25,5%, а в обзорных – 13,9% [73]. Любопытно, что уровень самоцитирования за период с 1779 по 2011 год у авторов-мужчин был на 56% выше, чем у женщин, а в последние два десятилетия, несмотря на увеличение числа женщин в науке, стал на 70% больше [62].

Авторское самоцитирование можно оценивать по-разному. С одной стороны, оно позволяет понять преемственность исследований, а с другой – отражает эгоцентризм автора или неэтичное сознательное желание повысить уровень цитирования своих работ, с чем рекомендуется бороться¹⁸ [39, 43, 93]. Однако эксцессы в самоцитировании в известной мере вызваны тем, что именно библиометрические показатели стали использоваться для административной оценки ученых. Поэтому для оценки уровня самоцитирования биомедики из Цюриха [62] даже предложили *s*-индекс, построенный аналогично индексу Хирша [24].

Помимо авторского, различают также и другие формы самоцитирования: институциональное (цитирование сотрудниками одной и той же лаборатории или института), страновое (одна и та же страна), журнальное (статьи одного и того же журнала), издательское (статьи одного и того же издательства) и другие [24].

Накопилось большое число аналитических публикаций и отзывов ученых, известных своими научными достижениями, содержащих критическое отношение к использованию библиометрических индексов для оценки деятельности научных сотрудников и их коллективов [8, 11, 12, 20, 21, 23, 26–29, 32, 34, 42, 54, 63, 73, 91, 92, 97, 102, 108, 112, 120, 121, 126, 127, 130, 141, 143 и многие другие].

Особо следует выделить статью группы западных критиков использования журнального импакт-фактора для оценки качества публикуемых статей [96]. Эта группа интересна тем, что в нее вошли канадский специалист по наукометрии и руководители (директора и ответственные редакторы) таких известных журналов, как *Nature*, *Science*, *EMBO*, *eLife*, *PLOS*, а также *The Royal Society (London)*.

Тревожные последствия применения журнального импакт-фактора для оценки исследований давно осознали многие в западных странах, но, увы, не в России. Можно сослаться, например, на Декларацию

¹⁸ Будучи биологом, Стивен Лавани [93] предложил классификацию авторского самоцитирования, выделив два рода, каждый из которых содержал по четыре вида самоцитирования.

об оценке исследований (*San Francisco Declaration on Research Assessment*, DORA, <https://sfdora.org/read/>)¹⁹, Лейденский манифест [80] и британский отчет *The Metric Tide* [141]²⁰, которые содержат призывы к отмене его влияния.

Против разрушительного применения импакт-фактора для оценки деятельности ученых выступил также клеточный биолог Брюс Албертс (Bruce Alberts), главный редактор знаменитого американского журнала *Science*. Он полностью поддержал критическую позицию Американского общества клеточной биологии, заявленную в выше упомянутой декларации в декабре 2012 года (DORA). Импакт-фактор был назван им суррогатной мерой качества научных статей, используемой для оценки научного вклада ученого, при принятии решения о найме, о продвижении по службе, выделении финансов и т. д. Однако такое злоупотребление (misuse) автоматизированными индексами оказывает весьма деструктивное воздействие на развитие науки [41].

Против тирании «библиометрии как оружия массового цитирования» и за возврат к реальным ценностям науки выступили известные этнолог Антуанетт Молини и химик Джеффри Боденхаузен из Франции и Швейцарии [21], кстати, имеющие высокий уровень цитирования. Примеры с подобными призывами можно приводить бесконечно.

Декларацию DORA поддержали более 150 известных ученых и 75 научных организаций, включая самую крупную в мире Американскую ассоциацию содействия науке (American Association for the Advancement of Science, AAAS, издатель *Science*), насчитывающую более 120 тысяч членов. Затем, в течение пяти лет декларацию подписали около 12 000 человек и 400 организаций [118]. К 14 декабря 2017 года число отдельных подписавших Декларацию лиц возросло почти до 13 тысяч, а число научных организаций – почти до 900 [26]. После проведения своего анализа от использования импакт-фактора отказался медицинский факультет Бернского университета (Швейцария), который до декларации ДОРА применял его [129].

Похожую позицию заняли многие влиятельные организации и фонды-спонсоры науки в мире [91]. Среди них Исследовательские советы Великобритании (Research Councils UK), Wellcome Trust, Европейская Организация молекулярной биологии (EMBO), государственные Национальные институты здравоохранения (National Institutes of Health, NIH) и Национальный научный фонд (National Science Foundation, NSF)

¹⁹ Имеется русский перевод декларации DORA (<https://sfdora.org/read/the-declaration-p%20d1%83%20d1%81%20d0%ba%20%b8%20%b9/>). См. также [26].

²⁰ Поводом для проведения этого независимого изучения влияния наукометрии (буквально «Метрический прилив») стал трагический случай самоубийства сотрудника Imperial College в сентябре 2014 года [141: III].

в США [118, 130], Австралийский исследовательский совет (Australian Research Council), Канадские институты медицинских исследований (Canadian Institutes of Health Research). Все они заявили, что ни при каких обстоятельствах не следует принимать во внимание журнальный импакт-фактор при оценке заявок на гранты. Национальный научный фонд естественных наук в Китае также не требует от заявителей заявок сообщать библиометрические данные [130]. Европейский союз призвал рассматривать содержание представляемых проектов (заявок), а не оценивать их по наукометрии.

Против неправомерного использования этого показателя при оценке исследователей предостерегают и сами научные журналы [56, 57, 112, 122]. Многие из них, например, *Nature*, *Science*, *Molecular Biology of the Cell*, *PLoS*, *eLife* и все журналы Американского общества микробиологии (American Society for Microbiology), дистанцировались от импакт-фактора и перестали выкладывать его на своих вебсайтах [118].

В Бразилии гонка за импакт-фактором стала влиять на поведение ученых, особенно молодых, которые стремятся опубликовать свою статью в «престижном» журнале с максимально высоким импакт-фактором, а не в том, который более соответствует их специальности и направлен на их профессиональную фокус-группу, поскольку в последнем случае журнал имеет меньшее значение импакт-фактора [102]. Такое же поведение мы наблюдаем и среди российских научных сотрудников, особенно младших поколений. Более того, в Бразилии направления исследований, журналы в которых имеют более низкий импакт-фактор, получают меньше финансирования и в меньшей степени привлекают студентов, что негативно отражается на общей структуре науки в стране [102].

По справедливому замечанию Ричарда Моностерского [103], импакт-фактор, некогда задуманный как простой путь для ранжирования научных журналов, стал неперенным критерием для пребывания исследователей в должности или для получения грантов. По его выражению, индикатор превратился в «число, пожирающее науку!» Как заключили европейские зоологи [52], библиометрические показатели, которыми измеряют эффективность деятельности ученых, это – отрицание самой науки, которую они якобы измеряют. Последствия неосведомленного чрезмерного доверия к ним могут быть коварны.

Британский биолог (Stephen Curry) призвал снабжать журнальные метрики предостережениями об их вреде, по аналогии с антитабачной рекламой на пачках сигарет, справедливо полагая, что эти метрики являются корнем многих зол при оценке исследований [138]. Немецкий главный редактор журнала по морской геологии Бург Флемминг [63], проанализировавший 20 журналов в этой области, пришел к выво-

ду, что импакт-фактор – это «великое заблуждение». Поэтому понятен эмоциональный призыв британского молекулярного биолога, Нобелевского лауреата 1993 года Ричарда Робертса [115] относительно импакт-фактора:

«<...>. Его никогда не следовало использовать, и он нанес огромный вред науке. Давайте похороним его раз и навсегда!»

Тем не менее, несмотря на обильную доказательную критику библиометрических показателей в плане их практического применения к оценке статей и ученых со стороны большей части научного сообщества в мире, многие ученые и учреждения, различные комиссии по оценке работы исследователей и их групп никак не могут избавиться от ставшей для них привычной позиции ориентации на индексы. В Европе это наблюдалось в Чехии, Испании, Фландрии (часть Бельгии), Италии [130], в скандинавских странах [31].

Различные количественные показатели все чаще становились частью инструментария управлением исследованиями [141] и нередко рассматриваются как простой удобный показатель «качества» ученых, в том числе для отсеивания их при подачи своих резюме или заявок на гранты [91]. Большей частью это происходит в развивающихся странах Азии, Латинской Америки и Восточной Европы, где имеет место некоторое преклонение перед известными западными журналами [110]. В этой группе до сих пор по собственному выбору находится и Россия.

Увы, именно такая пагубная для науки позиция весьма характерна для части российских ученых²¹ и особенно для управленцев наукой на всех ее этажах.

В оправдание опоры на индикаторы (метрики) указывают на то, что в условиях взрывного характера развития науки использование экспертных оценок ограничено их крайней ресурсоемкостью (нехваткой квалифицированных экспертов, большими затратами времени) и другими проблемами. Кроме того, метрики якобы уже глубоко вросли в ткань науки, формируется новое поколение исследователей с «индикативным мышлением», за которым будущее. Использование индикаторов прагматично безотносительно наличия «глупых чиновников». Оно соответствует развитию «evaluation society» («оценочное общество»), которое характеризуется повсеместностью рейтингов, тотальной измеримостью и сравнимостью [31]. Заметим, что автор этой статьи несколько цинично характеризует ДОРА как «хрестоматийный пример академического популизма с красивой заглавной страницей» и заодно иронизирует над двуличностью самих ученых, критикующих индикаторы, но по факту пользующихся ими.

²¹ Согласно социологическому опросу российских экономистов, 30,1% респондентов считает, что «цитируемость и есть критерий качества публикации» [27].

И.А. Стерлигов²² [31] осознает наличие как положительных, так и отрицательных аспектов наукометрических индексов. Он предложил различать два типа рейтингов: *ранжирующие*, которые по определению довольно антинаучны²³, и *категориальные*, которые, по его мнению, в науке очень важны и применяются почти везде. В случае последних речь идет о разбиении множества объектов (журналов, ученых, публикаций, организаций, грантовых заявок и т. д.) на несколько, обычно не более пяти, уровней для принятия решений. Такое разбиение может совершаться с помощью формальных индексов и/или экспертной оценки.

Даже сторонники журнального импакт-фактора признают, что при оценке деятельности индивидуальных ученых он должен применяться вместе с другими индикаторами и экспертным заключением [110]. Правда, это не мешает морскому биологу А.И. Пудовкину [110] утверждать, что импакт-фактор позволяет просто и быстро отличить «плохих исполнителей» от «хороших». Идентификация первых, по его мнению, проста: раз нет публикаций в журналах с высоким импакт-фактором, то и цитирование будет низким, если вообще будет. А далее, вероятно, должны последовать столь же простые практические административные выводы, о чем, правда, сам автор не пишет. С такой незамысловатой «топорной» логикой можно погубить не одного полезного специалиста, например, в области зоологии или ботаники. Исходя из нее, необходимо было бы давно уволить выдающегося математика Г.Я. Перельмана (см. ниже).

Многие недостатки, указанные критиками журнального импакт-фактора, попытались исправить в другой базе данных, названной *Индикаторы эффективности журнала* (Thomson Scientific database *Journal Performance Indicators*, JPI). В ней каждый источник связан со своим собственным уникальным цитированием, что делает подсчет импакта более точным. Это полезно для решения, какой журнал лучше купить для библиотеки, или куда лучше (престижнее) послать свою рукопись. Однако использование даже *Journal Performance Indicators* для оценки ученых вместо реального цитирования их работ весьма спорно [69].

Большинство ученых-наукометристов признают, что в общем случае не существует одного или даже двух количественных параметров, на основании которых можно было бы уверенно и всеохватывающе выстраивать иерархию и рейтинги участников научного процесса. Принятие решений должно осуществляться на базе многоаспектного анализа, принимающего во

²² Стерлигов Иван Андреевич – советник и начальник Аналитического отдела Высшей школы экономики (Москва).

²³ «Как мы можем строго научно утверждать, что Колмогоров выше или ниже, а то и "круче" Гильберта? По числу ссылок в WoS? Сама постановка такой задачи вызовет у математика недоумение. У его начальника может не вызвать <...>» [31: 57].

внимание целый ряд характеристик, которые отражают различные стороны научной деятельности [22, 23].

В целом, благодаря критике, сторонники библиометрических показателей в последние десятилетия провели большую работу по усовершенствованию индексов, подсчет которых становился все сложнее и более трудоемким. Фактически сформировалось новое самодостаточное научно-аналитическое направление со своими журналами и институциями. Библиометрия активно обсуждается и в России²⁴. Это можно только приветствовать в рамках анализа тенденций развития науки на национальном и международном уровнях, как вклад в развитие поисковых информационных систем, как помощь библиотечному делу в условиях интернета и т. д. Но только при одном условии: они не должны становиться инструментом для решения судебных исследователей.

Удивительно, но даже руководители научного отдела издательства Elsevier уже более 20 лет назад предостерегали от формального использования журнального импакт-фактора, разработанного Юджином Гарфилдом и его институтом (ISI), проанализировав целый ряд обстоятельств, влияющих на его значения. Более того, отмечая полезность анализа индексов для понимания развития тех или иных направлений науки и важности того или иного журнала, они прямо указали на то, что индексы, построенные на цитировании, следует применять с большой осторожностью, и их нельзя использовать для *прямой* оценки качества исследования [42]²⁵.

Подводя итоги своей многолетней деятельности, сам Юджин Гарфилд [69] пришел к выводу, что использование журнального импакт-фактора при оценке деятельности ученых имеет присущие этому показателю опасности. В идеале эксперты должны читать каждую статью того, кого оценивают, и выносить свои личные суждения.

Наукометрия и издательский бизнес

С некоторых пор речь уже не идет о выплате авторских гонораров. Напротив, именно авторы, по сути, содержат издательства. И чем выше формальные показатели авторитетности издательства во всевозможных рейтингах, тем дороже обходится авторам их публикация. Средняя стоимость публикации для автора в журнале, реферируемом библиографическими системами *WoS* и *Scopus* и на этом основании принимаемыми к отчетам по грантам Российского научного фонда (РНФ),

²⁴См., например, специальный выпуск «Наукометрия и экспертиза в управлении наукой» сборника «Управление большими системами» (№ 44, 2013), изданный московским Институтом проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН (http://ubs.mtas.ru/archive/index.php?SECTION_ID=685); [1].

²⁵Mayur Amin — директор, а Michael A. Mabe — заместитель директора Elsevier Science Group (publishing strategy, research interests and expertise). Впервые данная статья была опубликована в 2000 году [42: 347].

составляет около 2000 американских долларов, евро или швейцарских франков (журналы в PLOS, BMC, MDPI). Если журнал имеет высокие показатели в рейтингах, то цена доходит до 4–6 тысяч за стандартную публикацию (например, журналы издательства Frontiers).

Для авторов из стран Европы и Северной Америки имеется широкий спектр скидок, основанных на участии в поддержке издательств образовательными и исследовательскими учреждениями. Однако наша страна не участвует в таких проектах, поэтому стоимость публикации полностью ложится на плечи авторов. Некоторые издания предлагают постраничную тарификацию; в этом случае стоимость зависит от объема рукописи. Такая тарификация часто встречается в восточноевропейских издательствах, а также в издательствах республик бывшего СССР. Тем не менее эти журналы далеко не всегда удовлетворяют требованиям критериев *WoS* и *Scopus*, а значит и РНФ.

Издательство Springer, чья редколлегия с некоторых пор переехала в Индию и имеет возможность языкового редактирования на уровне носителей, в зависимости от финансовых возможностей авторов предлагает несколько уровней переработки текста в соответствии с требованиями грамматики английского языка. Широкая государственная поддержка периодических научных изданий обеспечила авторам, например из Китая, Южной Кореи и Индии, возможность выбора и помощь с платным редактированием текста. Иногда такая поддержка оказывается авторам безвозмездно, например, в журналах издательства LIDSEN. Однако несмотря на высокий уровень цитирования, они не реферируются в *WoS*, хотя в последнее время стали реферироваться в *Scopus*.

Несомненно, можно понять мощное лоббирование индексов (импакт-фактора) со стороны влиятельных западных корпораций, продвигающих *WoS* и/или *Scopus*. Ведь для них это — бизнес, приносящий неплохие доходы, а в случае со *Scopus*, связанным с транснациональной издательской компанией Elsevier (точнее Reed Elsevier), заодно еще и продвижение своих журналов. Как показали экономисты [47, 55], имеется положительная связь между уровнем цитирования (или импакт-фактором журнала) и ценами.

В связи с этим особенно странным выглядит требование управленцев к ученым публиковаться в высокорейтинговых журналах, издатели которых, пользуясь высокими формальными показателями, взвинчивают стоимость своих услуг [127].

Пять крупнейших издательств (“big publishers”), включая Wiley-Blackwell, Springer Nature, Elsevier и Taylor & Francis, фактически создали олигополию на мировом рынке научных журналов, увеличив долю своих изданий в естественных науках и медицине с 20% в 1973 году до 53% в 2013-м. Рост числа статей, издаваемых Elsevier, увеличился с 1990 года в 1,5

раза и достиг 24,1%, у Springer – в 2,9 раза и составил 11,9%, у Wiley-Blackwell – в 2,2 раза до 11,3%, у Taylor & Francis – в 4,9 раза до 2,9% мирового объема [90].

Такая же монополизация журнального рынка происходила в социальных и гуманитарных науках, где пять главных издательств захватили к 2013 году 51% мирового рынка (в 1973 у них было только 10%). У Elsevier доля составила 16,4% всех статей в этой сфере (рост 4,4 раза), у Taylor & Francis – 12,4% (рост в 16 раз), у Wiley-Blackwell – 12,1% (рост в 3,8 раза), у Springer – 7,1% (рост в 21,3 раза) и у SAGE Publications – 6,4% при росте в 4 раза [90].

Захват рынка осуществлялся двумя путями: созданием новых журналов и приобретением действующих. В состав корпорации Elsevier вошли многие другие издательства разной величины, в том числе Academic Press, North-Holland, Pergamon Press, Cell Press, Harcourt и т. д. В 2004 году Springer присоединил известное издательство Kluwer Academic Publishers. В 2001–2004 годах Wiley-Blackwell поглощал в среднем по 39 журналов в год [90]. В итоге Elsevier, Springer и Wiley-Blackwell скупили многих своих конкурентов и в настоящее время публикуют в своих журналах 42% общего числа статей в мире.

В отличие от ситуации в химии, клинической медицине, инженерных науках, науках о Земле, издательства «акулы» наименьшего успеха достигли в контроле журналов по физике, где им противостояли сильные научные общества, сами издающие профильные журналы [90].

Издательства Wiley-Blackwell, Springer Nature и Elsevier прямо обвиняются в заоблачных ценах за публикацию научных статей. Цены на научные статьи только за период с 1984 по 2002 год выросли в 6 раз, а в США с 1984 по 2010-й – в 8 раз, далеко обогнав инфляцию [123]. Особой жадностью отличилось издательство Elsevier, цены у которого в 2000-х годах были почти в 6,5 раза выше средних. Алчная политика привела к тому, что большинство научных библиотек не в состоянии покупать полные пакеты журналов, хотя те и нужны исследователям [47]. Поэтому не удивительно, что от покупки журналов отказались даже такие небедные организации, как Библиотека Конгресса США, Гарвардский, Стэнфордский, Калифорнийский и другие университеты.

К этому надо добавить введение, начиная с 1990-х годов, издательствами в свою финансовую стратегию *платного доступа* (так называемые пэйволлы, paywall) к цифровым версиям статей, выложенным на сайтах журналов, что стало возможным благодаря развитию интернета. Так, Elsevier создал платный портал ScienceDirect, на котором в 2017 году было выложено 13 миллионов статей и 33 000 книг. Фактически это – невозможность ознакомиться с содержанием статьи до предварительной оплаты (разовая

или постоянная подписка). Стоимость прочтения (или скачивания) статьи варьирует от 10 и более долларов, в среднем примерно 30–40 американских долларов.

В конце января 2012 года западные ученые начали бойкот Elsevier, отказавшись от всех форм сотрудничества с этим издательством, включая отказ публиковаться в его журналах. Десять редакторов журналов, приносящих сверхприбыли издательству, в знак протеста ушли в отставку. В 2015 году даже Ассоциация университетов Нидерландов пригрозила бойкотом Elsevier, в результате чего издательству пришлось пойти на уступки. С 2018 по 2023 год почти все исследовательские институты Германии отказались от подписки на журналы Elsevier из-за их высокой цены. Перестали сотрудничать Академия наук Франции, университеты Венгрии, Норвегии, Швеции, Южной Кореи, Тайваня, Перу и Украины (с июня 2020). Elsevier активно борется с политикой открытого доступа к публикациям, используя свои большие лоббистские возможности [50, 59, 117]²⁶.

Подсчеты показали, что средняя стоимость журнальной подписки в коммерческих издательствах, примерно в три раза выше, чем в некоммерческих; причем наиболее дорогие они у Elsevier [47, 55]. Публикация научных журналов превратилась в одну из наиболее прибыльных отраслей в мире с рентабельностью свыше 30%²⁷. Так, рентабельность в период 1991–1997 годов у компании Elsevier (Scientific, Technical & Medical Division) выросла с 17 до 26%, а в 2006–2013 годах с 30,6 до 38,7%, достигнув прибыли в 2 миллиарда американских долларов в 2012 и 2013 годах [90, 123]. Поэтому понятен призыв печататься не в коммерческих журналах, а в изданиях научных обществ, поскольку в последнем случае грантовые деньги на оплату статьи пойдут на благо самого научного общества, а не в карман корпорации [127].

Активная монополизация мирового рынка научных изданий осознается и в нашей стране (см. [10]). Однако российские ученые в бойкоте Elsevier, естественно, не участвовали, так как Министерство образования и науки РФ (далее Минобрнауки РФ)²⁸ в приказном

²⁶ См. также <https://en.wikipedia.org/wiki/Elsevier>.

²⁷ Кстати, цена журналов на английском языке выше на 20–60% по сравнению с изданиями на других языках. Имеются пока необъяснимые различия в цене журналов в зависимости от научной области: самые дешевые в правоведении, самые дорогие в физике и химии, промежуточные в экономике [55].

²⁸ Министерство, отвечающее за науку в России, несколько раз меняло свое название: Министерство науки и технической политики РСФСР (ноябрь 1991), Министерство науки, высшей школы и технической политики РСФСР (ноябрь–декабрь 1991), Министерство науки, высшей школы и технической политики РФ (1991–1993), Министерство науки и технической политики РФ (1993–1996), Министерство науки и технологий РФ (1997–2000), Министерство промышленности, науки и технологий РФ (2000–2004), Министерство образования и науки РФ (2004–2018), Министерство науки и высшего образования РФ (с 2018).

порядке заставляло их делать всё ровно наоборот, то есть печататься как раз в журналах, индексированных в *Scopus*, принадлежащем Elsevier! Даже среди западной научной общественности вызвала удивление позиция российского министерства, направленная на такое сотрудничество и ориентированная на коммерчески успешные (алчные) журнальные проекты. Более того, российские журналы были отданы министерством на аудит западным издательствам, в частности Nature Publishing Group (см. http://www.jspb.ru/academic_journals.pdf).

Неизбежно возникает вопрос, почему многие отечественные администраторы и чиновники на всех уровнях, от руководителей институтов и вузов до руководства Минобрнауки РФ, в течение многих лет так рьяно отстаивают не национальные российские, а чужие интересы, связанные с коммерцией, занимая явно компрадорские позиции? Ответ на этот вопрос требует тщательного всестороннего расследования и не только в научной области.

Отечественная административная политика по оценке деятельности ученых

В советское время существовала система оценки научной деятельности, основанная на отчетах о выполнении тематик государственного задания. В такой системе были как плюсы (предполагалась экспертная оценка), так и минусы. Однако из-за формальности отчетов терялся их смысл и развивались предпосылки для снижения эффективности работы целых организаций.

Тем не менее система отчета научных сотрудников и оценка их научной деятельности в целом была более объективна и демократична, чем сейчас. Сотрудник должен был раз в 5 лет выступить с устным (помимо бумажного) отчетом на Ученом совете института, куда могли прийти и его заинтересованные коллеги. Могла при желании состояться открытая дискуссия (за или против). Были понятны доводы сторон. Сейчас же приказом директора создается комиссия, которая рассматривает «бумажки» в закрытом режиме, без участия самого сотрудника. Тот, естественно, не ведает, что там происходило, если с ним потом не поделится его друзья-коллеги из членов комиссии.

В поздне-советское время, по крайней мере, в системе Академии наук СССР в качестве мерила стали использовать *количество публикаций* сотрудника за отчетный период. Соответственно «научный народ» ответил резким увеличением числа тезисов докладов и коротких сообщений в материалах конференций. Стали также дробить большие статьи на ряд более коротких, чтобы увеличить их число [19]. Такая практика получила ироничное название *salami slicing* («нарезание колбасы»), а статьи – *salami publications*

[88, 125]. Это позволяет искусственно увеличивать показатели благодаря росту числа опубликованных работ, а также путем самоцитирования, так как иначе невозможно связать разрозненные куски воедино. Научная ценность всего труда от такого «нарезания», может быть, и не падает, но это формирует не совсем верное представление о результатах и искажает восприятие достижений [101].

Вообще-то в те годы среди «серьезных» ученых (например, среди физиков-экспериментаторов) считалось неприличным иметь много статей в году, так как это свидетельствовало о легковесности научного поведения. Респектабельно было опубликовать одну-две солидных статьи в приличном журнале. В гуманитарных и классических биологических науках издание монографии, над которой работали несколько лет, оценивалось как предел мечтаний.

Другой вариант увеличения числа статей (*salami science*) – повторное опубликование одних и тех же данных в другом журнале [88]. Для борьбы с обоими вариантами искусственного умножения публикаций предлагаются разные методы [100, 125]. Однако такие надуманные «нарезки» надо отличать от публикации *serius* статей (частями) на одну тему вместо одной слишком крупной публикации [88]. Нередко это вызвано требованиями журнала по числу страниц. Не является «нарезкой» предварительная краткая публикация полученных данных с последующей подробной публикацией [125]. Иногда ту или иную статью, которая привлекает внимание, перепечатают в других изданиях по инициативе редакторов. В таких случаях это надо четко указывать.

20 июня 1993 года Правительством РФ по предложению Администрации Президента РФ был создан Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти²⁹. ЦИТиС был определен в качестве российского участника Международного центра по информатике и электронике и собирает всю информацию о научных исследованиях, проводимых в нашей стране за счет средств федерального бюджета. Главными целями деятельности ЦИТиС являются исследование, внедрение и развитие информационных, телекоммуникационных и других систем на основе средств вычислительной техники, связи и оргтехники для создания информационно-коммуникационной инфраструктуры органов государственной власти и управления РФ. Создание, модернизация и эксплуатация информационной системы обеспечиваются Минобрнауки России, являющимся оператором и заказчиком информационной системы (см. Постановле-

²⁹ Федеральное государственное автономное научное учреждение «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти имени А.В. Старовойтова» координируется Федеральной службой по надзору в области образования и науки (Рособрнадзор). См. https://www.citit.ru/citit_about.html.

ние Правительства № 327 от 12.04.2013 с последующими изменениями; <https://base.garant.ru/70359576/>).

Активно пропагандировавшие свои методы аналитики компаний Thomson Reuters и Elsevier с помощью российских лоббистов нашли способ убедить чиновников Минобрнауки РФ в большей эффективности именно своих инструментов, которые стали обязательными³⁰. За государственные средства во все институты и образовательные учреждения страны были куплены лицензии на использование *WoS* и *Scopus*. Остался без внимания откровенный конфликт интересов с частными владельцами зарубежных периодических изданий, которые не были заинтересованы ни в развитии нашей науки, ни в сохранении научных периодических изданий в России. *Всероссийским институтом научной и технической информации* (ВИНИТИ) РАН были изданы методички для российских журналов, в том числе медицинских, по подготовке их к включению в зарубежные индексы цитирования (О.В. Кириллова: [13, 15]), а также красиво оформленные рекламные материалы (А.П. Локтев³¹: [17]). В 2008–2013 годах в *Scopus* попали 25 российских журналов, из них 8 за первую половину 2013 года (О.В. Кириллова: [13]). При участии Thomson Reuters в Екатеринбурге на русском языке было издано руководство по наукометрии (М.А. Акоев и соавт.: [1]).

Начало активного внедрения библиометрической оценки деятельности научных сотрудников и учреждений на высшем официальном уровне датируется 7 мая 2012 года³², когда был подписан Указ Президен-

³⁰ В советское время были созданы два института, предоставлявшие сведения о научных публикациях, включая зарубежные издания. В 1952 году был учрежден Институт научной информации, затем переименованный во *Всесоюзный институт научной и технической информации* (ВИНИТИ), который с 1953 года стал издавать реферативный журнал из более чем 200 отдельных ежемесячных выпусков по естественным, техническим и точным наукам. Короткие рефераты на публикации составляли на платной основе научные сотрудники из разных учреждений. На эти выпуски, стоимость которых была невысокой, на почте могли подписаться не только организации, но любые желающие. Например, один из авторов (ЛБ) несколько лет готовил для ВИНИТИ рефераты иностранных статей по герпетологии и выписывал «Зоологию позвоночных», а также выпуск по общей и эволюционной биологии. С 1998 года ВИНИТИ РАН – головная организация Государственной системы научно-технической информации (ГСНТИ) России, с 2010 года базовая организация государств-участников Содружества Независимых Государств (СНГ) по межгосударственному обмену научно-технической информацией. В 1969 году был создан *Институт научной информации по общественным наукам* (ИНИОН), ставший крупнейшим центром научной информации в области социальных и гуманитарных наук.

³¹ *Кириллова Ольга Владимировна* – кандидат технических наук, эксперт-консультант БД *Scopus*, член *Advisory Board Elsevier Russia* и *Консультативного совета по формированию контента БД SCOPUS (Content Selection and Advisory Board, CSAB), Elsevier (2009–2012)*. *Локтев Андрей Петрович* – кандидат экономических наук, консультант по ключевым информационным решениям Elsevier S&T в России и Республике Беларусь.

³² Министром образования и науки в это время был *Андрей*

та Российской Федерации № 599 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки». В Указе было предусмотрено увеличение к 2015 году доли публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных *WoS*, до 2,44%. Как позже отметили А.Г. Голубев и соавт. [8: 2]: «<...> в истолковании юристов и экономистов, доминирующих в управленческих структурах, в зависимость от которых поставлена наука, достичь указанной цели надлежало всеми правдами и неправдами, причем неправды в конечном счете возобладали».

2 ноября 2013 года был принят Федеральный закон от № 291-ФЗ «О Российском научном фонде и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В критериях конкурсного отбора программ и проектов, подаваемых в РФФИ, а также в требованиях отчетности по выполняемым проектам, была прямо записана ориентация на журналы, индексируемые в *Scopus* и *WoS*, без публикации в которых грант практически получить невозможно. Таким образом, главный (а потом и единственный) федеральный фонд, финансируемый из российского бюджета, открыто демонстрировал пренебрежение к отечественным журналам, что было воспринято российскими учеными, особенно молодого и среднего возраста, как однозначный сигнал к ориентации только на западные журналы.

10 декабря 2013 года вышел Приказ Минобрнауки РФ № 1324 «*Показатели деятельности образовательной организации высшего образования, подлежащей самообследованию*». В Приложении № 4 («Показатели научной деятельности вузов») подпункты 2.4 и 2.5 требовали от вуза указывать число статей в научной периодике, индексируемой в системах цитирования *WoS* и *Scopus* (соответственно) в расчете на 100 научно-педагогических работников³³. Подпункт 2.6 касался числа публикаций в РИНЦ. Доктор юридических наук Н.А. Боброва [2] назвала этот приказ *антиконституционным*.

Продолжение принудительной компании по интеграции в *WoS* было связано с так называемой реформой Российской академии наук, формально инициированной Минобрнауки РФ летом 2013 года и официально законченной в 2018 году. Было заявлено, что реформа будет способствовать развитию науки в стране и уси-

Александрович Фурсенко (р. 1949), который занимал этот пост с 9 марта 2004 года. Через две недели, 21 мая 2012 года, он стал помощником Президента Российской Федерации. Сторонник Болонской системы высшего образования (24 мая 2022 года Россия начала выход из Болонского процесса) и ЕГЭ. Награжден государственными, региональными и иностранными наградами «за большие заслуги в развитии образования и науки» (см. статью в «Википедии»).

³³ <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=295062>. Подпункты 2.4 и 2.5 не применяются с 08.07.2022 до 31.12.2024 (Приказ Минобрнауки РФ от 06.05.2022 № 442, пункт 2).

лению ее позиций на международном уровне, *росту* эффективности и *наукометрических показателей работы ученых*, а также избавлению от злоупотреблений в околонаучной сфере.

На деле всё свелось к разгрому РАН и созданию сомнительного Федерального агентства научных организаций (ФАНО), под ведомство которого перешло имущество РАН, включая институты. Резко выросло влияние бюрократии, не имеющей отношения к исследованиям. Появилось большое число управленцев («эффективных менеджеров») из финансово-экономического блока, очень уверенных в себе, но плохо понимающих специфику научной деятельности. Вскоре ФАНО, созданное для управления имуществом, фактически подмяло под себя институты и стало вмешиваться в их работу, чем вызвало возмущение подавляющего большинства академического сообщества, как членов РАН, так и научных сотрудников институтов. В 2018 году ФАНО к большой радости научного сообщества было упразднено. Однако радость была недолгой, так как вскоре бывший директор ФАНО и финансист (!) был назначен министром науки и высшего образования России³⁴.

В результате реформы власти надеялись повысить общее число научных публикаций и показатель индекса цитируемости, чтобы поднять место России среди других стран в мире. Необходимость реформы РАН объяснялась также якобы низкой, согласно наукометрическим показателям, эффективностью работы академии. Однако объективный анализ ситуации говорит о другом [5].

Согласно международным данным, по *удельному весу страны в общемировом числе статей в научных изданиях, индексируемых в системе WoS*, в 2018 году Россия занимала 14-е место, между Бразилией и Ираном, с показателем 2,97% (общее число статей в мире – 1 983 790). Однако указанной базой данных не учитывается большое число российских журналов и книг. Поэтому реальная доля российских публикаций была выше. По *внутренним затратам на исследования и разработки в процентах к валовому внутреннему продукту (ВВП)* в 2018 году Россия находилась на 36-м месте, между Ирландией и Хорватией, с пока-

³⁴ Директором ФАНО стал Михаил Михайлович Котюков (р. 1976), который до этого работал заместителем министра финансов и занимался вопросами финансирования социального сектора, включая науку. В 2018 году после упразднения ФАНО он был назначен министром науки и высшего образования РФ. По мнению огромного большинства научных работников, а также членов РАН, нанес своей деятельностью большой ущерб развитию науки в стране, а также провалил выполнение Указа Президента России № 597 от мая 2012 года, согласно которому зарплата ученого должна была быть равна двойной (200%) средней по региону (см. [4]). 15 января 2020 года М.М. Котюков неожиданно был отправлен в отставку вместе с Правительством Д.А. Медведева и вернулся на должность заместителя министра финансов. В сентябре 2023 года был избран губернатором Красноярского края. Награжден орденами и медалями.

зателем 0,99%. По *численности персонала, занятого исследованиями и разработками, в расчете на 10 000 занятых в экономике* в том же 2018 году России досталось 33-е место, между Литвой и Италией, с показателем 57 человек на 10 000 занятых [9]³⁵.

Если сопоставить рейтинги по численности исследователей и количеству публикаций (к тому же заниженному), то уровень публикационной активности наших ученых оказывается почти в 2,5 раза выше, чем можно было бы ожидать. Если же дополнительно учесть низкий уровень финансирования исследований, то степень эффективности российской науки станет еще выше (см. также [22]).

Это подтверждается и свежими данными по 15 наиболее развитым странам мира за 2022 год. По американским сведениям [105³⁶, Figure PBS-2, Table PBS-1, p. 11 и 13], по числу публикаций, индексируемых в базе Scopus, Россия заняла 8-е место в мире (2,52% от общего числа статей в мире, 3 344 037), опередив Южную Корею, Канаду, Францию и других. Рост числа публикаций в России составил 2,3 раза, с 36 532 в 2012-м до 84 252 статей в 2022 году.

Для сравнения приведем цифры по опережающим нас странам: Китай (1-е место, 898 949 статей, 26,88%), США (2-е место, 457 335, 13,68%), Индия (3-е место, 207 390, 6,20%), Германия (4-е место, 113 976, 3,41%), Объединенное Королевство (5-е место, 105 584, 3,16%), Япония (6-е место, 103 723, 3,10%) и Италия (7-е место, 90 586, 2,71%).

Однако структура научных исследований в разных странах оказалась различной [105, Figure PBS-4, p. 15]. Так, в США публикации в области медицины и биологии составили 51% всех американских статей, а инженерные, информационные науки и физика суммарно дали всего лишь 23%, тогда как в Китае впереди оказались именно они (46%), а не медицина и биология (26%). В странах Европейского союза статьи в последних областях в сумме достигли примерно 41%. Россия заняла 1-е место в мире по росту статей в области медицины, почти 450% от 2010 к 2022 году, и вслед за Индией – 2-е место в области инженерных наук, 230% [105: 18].

По данным за 2020 год, среди 15 наиболее развитых стран мира чаще всего российские статьи цитировались коллегами из Европы (Италия, Германия, Франция, Великобритания), затем из США, Австралии, Канады и Ирана. Меньше внимания российским публикациям уделяли исследователи Китая, Японии, Индии, Южной Кореи и Бразилии [105: 42].

³⁵ К сожалению, эти данные нельзя сопоставить с таковыми за 2022 год [7], так как отчетность в последнем сузилась до 13 стран, включая Россию.

³⁶ Авторами отчета, представленного National Science Board, являются научные аналитики Benjamin Schneider, Jeffrey Alexander и Patrick Thomas [105: 64].

Любопытно, что отечественные статистики науки [7] отвели России в 2022 году лишь 12-е место в мире по суммарному числу публикаций из списка Scopus (109 222, 3% общего мирового числа), хотя в 2020 году она была на 8-м месте с 12 7924 публикациями. В 2022 году, по их данным, Канада (8-е место), Франция (9-е место) и две неназванные страны (10-е и 11-е места) опередили Россию [7: 12 и 58].

Конечно, ко всем этим цифрам надо относиться спокойно, так как вряд ли уровень научных исследований, например, в Индии, выше, чем у германских или британских ученых. Кроме того, число отечественных статей занижено, поскольку в нашей стране число журналов вне списка Scopus достаточно велико.

Таким образом, в целом рассуждения чиновников о якобы недостаточной эффективности российской науки связаны не со слабой деятельностью самих ученых, работающих на энтузиазме в условиях явно недостаточного финансирования, а должны относиться к *плохой системе* управления наукой и угнетающему воздействию всё возрастающей бюрократии. Отметим, что, начиная с 2010 по 2022 год, финансирование науки в стране неуклонно падало, от 1,13 до 0,94% от ВВП [7: 38].

В соответствии с распоряжениями федеральных властей по всей стране началась кампания по попаданию отечественных журналов в список Scopus, получившая среди ученых меткое название «*Scорление*» российских журналов. На многочисленных семинарах (вебинарах) представители Scopus рассказывали, что надо предпринять, чтобы достичь желанного статуса. При этом происходило (и происходит) откровенное вмешательство в редакционную политику журналов. Некоторые журналы получают отказ от включения в Scopus, что вовсе не означает, что журнал плохой.

Так, совсем недавно такой отказ получили «Историко-биологические исследования» (Санкт-Петербург). Это – единственный в нашей стране по данному направлению журнал вполне академического уровня, с международной редколлекцией, включающей известных специалистов из разных стран в области истории биологии. Причина отказа несколько издевательская: история российской биологии якобы не представляет интереса для мировой науки (А.И. Ермолаев, устн. сообщ. 4.03.2024). В прошлом году Scopus рекомендовал другому петербургскому журналу, который входит в их список, не публиковать интересную статью по истории отечественной зоологии. К сожалению, редколлегия пошла на поводу у столь сомнительного указания.

Внесение в список Scopus и особенно в WoS до сих пор расценивается в учреждениях как большое, радостное событие, которое сразу же отражается на сайтах, рапортуется в отчетах «наверх» и т. д. В целом это напоминает поведение туземцев, неожиданно по-

лучивших от иноземцев стеклянные бусы. Известны случаи, когда руководство вуза грозило закрыть (и закрывало) свой ведомственный журнал, если тот не попадал в список Scopus. Само научное содержание журнала начальство не волновало.

Результатом погони за показателями о публикациях в западных журналах, обусловленной приказами Минобрнауки РФ, стало возмущение научных сотрудников. Однако никакие обращения, призывы, инициативы со стороны главного заинтересованного в науке участника, то есть самого научного сообщества, не действовали на тех, кто принимал и реализовывал пагубные решения, ведущие к разрушению отечественной системы научных журналов и научного книгоиздания, а также, что еще прискорбнее, к насаждению неуважения, а подчас и презрения к русскоязычным публикациям среди российских исследователей молодого и среднего поколений [8].

«Игра в цифирь» стала главным инструментом бюрократического управления наукой на всех уровнях: от Администрации Президента, Минобрнауки РФ, руководства РАН и ВАК до дирекций научных организаций, ректоратов вузов и фондов поддержки науки и образования. Цитируемость, трактуемая как измеритель эффективности науки, превратилась «в административную дубинку». Такая разновекторность мнения научного сообщества и противоположной по направлению административной политики была справедливо названа «управленческим провалом», а точнее *наукOMETрическим провалом* со стороны государства [27].

Гонка за цитированием и другими показателями превратилась в самоцель. Все участники процесса: авторы, научные организации, журналы, – в какой-то степени пытаются манипулировать данными, чтобы повышать свои показатели, ведь от этого зависит многое [10].

На политику Минобрнауки России бурно отреагировал рынок околонуучных услуг. На электронные адреса научных сотрудников посыпались многочисленные предложения, в которых предлагалось за определенную плату обеспечить публикацию статьи в Scopus или WoS. Мы (ЛБ) провели небольшое расследование, запросив расценки. Так, в декабре 2021 года нам пообещали помочь с ростом индекса Хирша, «в построении карьеры ученого и публиковать научные статьи в Scopus и WoS». Оказалось, что можно самому статью даже не писать, а получить место *соавтора* в публикации Scopus Q1–4 или WoS Core Collection за 20–30 тысяч рублей. В некоторых случаях «продавцы престижа», думая, что клиент клюнул, даже не скрывали своего адреса (Украина) и предлагали гарантии с заключением юридически обязывающего договора (Москва).

В литературе можно найти и другие расценки на размещение статей в журналах: от 42 тысяч рублей в Scopus и от 42–52 тысяч рублей в WoS. Для сравнения:

публикация в списке ВАК стоила всего от 10 тысяч рублей [26]. Указывалась также стоимость от 3000 до 4000 американских долларов за статью в *Scopus* [2].

Такая торговля статьями в рейтинговых журналах *Scopus* существует и за рубежом. Так, один наш коллега, живущий в Италии, получил сведения о возможности опубликоваться в 2019 году (с указанием месяца) в журналах *Scopus* Q3 по экологии, зоологии, экономике, бизнесу в Англии, Q1 по медицине в Италии, Q3 по медицине в Канаде, Q3 по гуманитарным, социальным наукам, искусству и культуре в Венесуэле. Сообщалось, что возможны и другие варианты.

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). В 1999 году по инициативе Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ)³⁷ была создана платформа eLibrary.ru, которая должна была, среди прочего, обеспечить российским ученым электронный доступ к ведущим иностранным научным изданиям. В 2005 году частная компания «Научная электронная библиотека» вместе с eLibrary.ru победила в конкурсе Минобрнауки РФ на создание национального индекса научного цитирования, предложив Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Его инициаторами стали президент компании Pleiades Publ. Inc.³⁸, американский бизнесмен российского происхождения А.Е. Шусторович и председатель РФФИ академик РАН М.В. Алфимов. eLibrary.ru стала ведущей электронной библиотекой научной периодики на русском языке в мире.

РИНЦ – это национальная библиографическая база данных научного цитирования, аккумулирующая более 12 миллионов публикаций российских авторов, а также информацию о цитировании этих публикаций из более 6000 российских журналов. Она предназначена не только для оперативного обеспечения научных исследований актуальной справочно-библиографической информацией, но является также аналитическим инструментом, позволяющим *осуществлять оценку результативности и эффективности деятельности научно-исследовательских организаций, ученых*, уровень научных журналов и т. д. (https://www.elibrary.ru/projects/citation/cit_index.asp).

³⁷ В 2020 году полезный фонд РФФИ был упразднен путем слияния с Российским научным фондом (РНФ), который стал единственным государственным фондом финансирования науки в стране. Уничтожение РФФИ вызвало волну возмущений в научном сообществе и расценивается как грубая ошибка в федеральной научной политике с печальными последствиями. На базе РФФИ в 2022 году был создан Российский центр научной информации, РЦНИ (см. <https://rcsi.science/org/>).

³⁸ Американская издательская группа Pleiades Group издает свыше 180 журналов на английском языке практически по всем направлениям современной науки, контролирует англоязычные версии бывших журналов РАН. Свою цель видит в наведении мостов между учеными Восточной Европы и других стран. Сотрудничает с компанией Springer Nature, которая является официальным дистрибьютором журналов Pleiades Group.

Основной целью проекта РИНЦ было создание объективной системы оценки и анализа публикационной активности и цитируемости отечественных исследователей, организаций и изданий. Решение о создании национального индекса научного цитирования было обусловлено тем фактом, что лишь 1/10 от всех публикаций российских ученых попадала в международные базы данных научного цитирования *WoS* или *Scopus*. Кроме того, многие направления российской науки (например, общественно-гуманитарные) в них вообще практически не были представлены.

Создание национальной базы данных не было российским изобретением. Подобные базы сформированы в Японии, на Тайване, в Сингапуре, Индии, существуют индексы испаноязычной литературы, формируется арабский индекс. Наиболее известны индексы научного цитирования по общественным, естественным и техническим наукам КНР. Появление таких баз данных, помимо прочего, связано с недостаточным отражением национальной науки в международных базах данных по цитированию.

«<...> Кроме языковых ограничений, есть и другое обстоятельство: потребителю информации из международной базы данных что-то будет интересно, а что-то нет. Можно обсуждать объективность отбора журналов в эти базы, но если журналы по какой-то тематике мало интересны с точки зрения международного потребителя, в базу цитирования они скорее всего не попадут, что и объясняет необходимость национального индекса научного цитирования» [10: 148–149].

В основе системы РИНЦ лежит библиографическая реферативная база данных, в которой индексируются статьи в российских научных журналах. В последние годы в РИНЦ стали включаться также и другие типы научных публикаций, как-то: доклады на конференциях, монографии, учебные пособия, патенты, диссертации. База содержит сведения о выходных данных, авторах публикаций, местах их работы, ключевых словах и предметных областях, а также аннотации и пристатейные списки литературы. Помимо российских, в РИНЦ стараются учитывать и издания из сопредельных стран: Украины, Белоруссии, Казахстана, Армении, Болгарии и других [10].

Утверждается, что РИНЦ *на основе объективных данных* позволяет *оценивать результативность исследовательской работы* и детально исследовать статистику публикационной активности более 600 тысяч российских ученых и 11 тысяч научных организаций, относящихся ко всем отраслям знаний. Хронологический охват системы – с 2005 года, но по многим источникам глубина архивов больше.

Приказом Минобрнауки РФ № 406 от 10 октября 2009 года в число показателей результативности работы научных учреждений были введены сведения,

отражаемые в РИНЦ (число публикаций и цитируемость научных сотрудников), наряду с *WoS*.

В 2010 году РИНЦ договорился с компанией Elsevier о предоставлении сведений о публикациях российских авторов и ссылающихся на них работах из международного индекса цитирования *Scopus* с целью их совместного анализа при оценке публикационной активности и цитируемости российских ученых и научных организаций. Это позволило учесть не только публикации в российских журналах, индексируемых в РИНЦ, но и публикации российских авторов в зарубежных научных журналах (https://www.elibrary.ru/projects/citation/cit_index.asp).

В сентябре 2014 года компания Thomson Reuters (ныне Clarivate) и Научная электронная библиотека заключили соглашение, целью которого с российской стороны было выбрать лучшие отечественные журналы в РИНЦ и разместить их на платформе *WoS* в виде отдельной базы данных *Russian Science Citation Index* (RSCI). Как было отмечено в пресс-релизе Thomson Reuters, в котором компания скромно назвала сама себя «мировым лидером в области предоставления аналитической информации для бизнеса и профессионалов»³⁹, ранее аналогичные соглашения были подписаны с южнокорейским, китайским и латиноамериканскими индексами научного цитирования. До конца 2015 года планировалось включить в эту базу данных до 1000 ведущих российских журналов по всем научным направлениям (все выпуски за последние 10 лет) из более чем 4000 журналов, то есть менее 25%.

Полагали, что размещение РИНЦ на платформе *WoS* и идентификация взаимных цитирований между публикациями в *WoS* и *RSCI* позволит значительно улучшить видимость российских научных журналов в международном информационном пространстве. Для российских журналов, попавших в *RSCI*, это будет своего рода плацдарм для их продвижения в ядро *WoS*. Все это должно было содействовать совершенствованию системы оценки эффективности научной деятельности на основе учета статей в коллекции лучших российских журналов (ядра РИНЦ).

Для организации работы по оценке и отбору российских научных журналов была создана рабочая группа под председательством вице-президента РАН А.И. Григорьева (1943–2023). Его заместителем стал первый проректор Высшей школы экономики (ВШЭ) директор Института статистических исследований и экономики знаний Л.М. Гохберг. В состав рабочей группы вошли представители РАН, ВШЭ, НЭБ, ведущих университетов и государственных научных центров (https://www.elibrary.ru/rsци_about.asp).

Тем не менее РИНЦ негласно считается второсте-

³⁹ См. https://www.elibrary.ru/projects/science_index/Thomson_Reuters_Collaborates_with_Russias_Scientific_Electronic_Library.pdf.

пенной системой, что отражается, например, в балльной системе ПРНД (см. ниже) при оценке деятельности научных сотрудников. Предпочтение явно, даже сейчас, отдается показателям *Scopus* и *WoS*. Многие, в том числе в научном сообществе, скептически относятся к списку журналов РИНЦ, полагая, что тот содержит много так называемых *мусорных* журналов, которые публикуют за деньги статьи без научного рецензирования или с низким его качеством. Так, согласно опросу российских экономистов, лишь 24,9% респондентов считают, что качество научных исследований повысилось в результате создания РИНЦ [27]. В 2017 году из РИНЦ были исключены 344 журнала (см. https://www.elibrary.ru/retraction_faqs.asp?). Надо отметить, что изъятия из своего списка осуществляет и система *Scopus*, у части журналов которой были выявлены к тому же манипуляции разного сорта (<https://en.wikipedia.org/wiki/Elsevier>).

Однако «всеядность» РИНЦ с ее неизбежными минусами была заложена изначально. Как заявил в своем интервью 2014 года генеральный директор ООО «Научная электронная библиотека» (eLibrary.ru) Г.О. Ерёмченко [10], если в *WoS* или в *Scopus* отбираются журналы по определенным критериям, то в РИНЦ отбираются не только журналы. Здесь целью является собрать все публикации российских ученых. Поэтому нет критериев и порогов: берется всё, что создает российское научное сообщество. В этом есть свои методические плюсы, ибо, имея полный массив, всегда можно отобрать лучшее. Это будет более объективно, чем сначала отбирать какое-то подмножество журналов, так как массив информации шире, в том числе ссылок из всех публикаций. При создании исчерпывающей базы данных всех публикаций российских ученых можно получить более правильную картину для анализа. Отсутствие слабых публикаций в открытом доступе работает только на поддержку слабой науки. Задача же РИНЦ – отразить картину как она есть. Если кто-то написал халтуру, но научное общество должно знать и о ней, увидеть это все и спросить с авторов [10]. **Однако при такой позиции, во многом обоснованной, нельзя использовать показатели РИНЦ для оценки деятельности научных сотрудников, как это повсеместно делается в стране.**

Интересно сегодняшнее отношение Минобрнауки РФ к РИНЦ. На запрос депутата Законодательного собрания Санкт-Петербурга А.В. Шишлова министру науки и высшего образования России В.Н. Фалькову от 27 февраля 2024 года о случаях «размещения в базе данных РИНЦ низкокачественных и псевдонаучных публикаций»⁴⁰ 11 апреля по поручению министра от-

⁴⁰ Упомянулась в частности «статья о рептилоидах» («Российская семья как основа государственности»), опубликованная в журнале «Юридическая наука: история и современность» (№ 9, 2023), не имеющая никакого отношения к правведению.

ветила врио директора Департамента государственной политики в сфере научно-технологического развития Е.Н. Грузинова⁴¹:

«РИНЦ представляет из себя информационно-аналитическую наукометрическую систему, функционирующую на базе электронной библиотеки научных публикаций eLibrary.ru (далее – Библиотека). Несмотря на то что Библиотека создана в 2005 году по решению Минобрнауки России, она разработана и поддерживается обществом с ограниченной ответственностью “Научная электронная библиотека” (далее – ООО “НЭБ”). Минобрнауки России не является учредителем ООО “НЭБ” и не имеет полномочий, позволяющих вмешиваться в хозяйственную деятельность данного юридического лица.

Одно из направлений деятельности ООО “НЭБ” связано с созданием различных наукометрических инструментов и проведением наукометрических расчетов. При расчете индексов цитирования и иных наукометрических показателей используются электронные версии научных изданий, размещенные в сети “Интернет” и доступные для обработки с использованием научно-методического и программного обеспечения ООО “НЭБ”.

Ответственности за содержание электронных версий научных изданий ООО “НЭБ” не несет <...>.

В связи с изложенным необходимо отметить, что обязательный учет показателей РИНЦ при выделении бюджетного финансирования на исследования и разработки нормативными документами Минобрнауки России не установлен. Использование тех или иных наукометрических показателей относится к компетенции финансирующих организаций» (подчеркнуто нами. – Л.Б., А.С.).

Из письма, во-первых, вытекает, что никто ни за что не отвечает и ответственности не несет. Во-вторых, можно напомнить, что, например, подпункт 2.6 Приложения № 4 («Показатели научной деятельности вузов») приказа Минобрнауки РФ № 1324 от 10 декабря 2013 года прямо касался количества публикаций в РИНЦ, требуемого от научных организаций. С трудом верится, что подведомственные Минобрнауки РФ научные учреждения (институты и вузы) выпускают приказы по ПРНД, где речь идет о показателях РИНЦ, исключительно по своей инициативе и без ведома министерства.

Не удивляет то, что все библиометрические индикаторы, которые использует РИНЦ (индекс Хирша, импакт-факторы и пр.) особого доверия, например, у экономического научного сообщества не вызывают. Ответ «не важен» в отношении того или иного показателя был получен от 66,7–97,4% респондентов [27].

Показатель результативности научной деятель-

⁴¹ Выдержки из переписки приводятся с личного разрешения депутата А.В. Шишлова (20.04.2024).

ности (ПРНД) был введен совместным приказом Минобрнауки РФ № 273, Минздравсоцразвития РФ № 745, РАН № 68 от 3 ноября 2006 года «Об утверждении видов, порядка и условий применения стимулирующих выплат, обеспечивающих повышение результативности деятельности научных работников и руководителей научных учреждений и научных работников научных центров Российской академии наук»⁴². От Минобрнауки приказ был подписан министром А.А. Фурсенко, от РАН ее президентом академиком Ю.С. Осиповым. Его сокращенное название (ПРНД) в научном фольклоре сразу получило толкование как «параноидальный индекс», что красноречиво говорит об отношении научного сообщества к этой бюрократической инициативе, которую подвергли критике (см. [19, 22, 30]). Лишь 29,8% опрошенных российских экономистов полагают, что зависимость оплаты труда от публикационной активности положительно влияет на повышение качества исследований [27].

Объявленной целью чиновников было стимулировать деятельность ученых с помощью формальных критериев по балльной системе. Однако на самом деле планировалось 15% сокращение штатов [19]. Поэтому неудивительно, что «тройственный приказ» воспринимался «внизу» как изоциренная форма издевательства околонучных властей, особенно если учесть чрезвычайно низкие оклады сотрудников, резкую нехватку денег в самих научных учреждениях и сильное недофинансирование науки в стране в целом.

Хотя потом (см. совместный приказ Минобрнауки, Минздравсоцразвития и РАН № 1 от 1 ноября 2010) приказ 2006 года формально был отменен, но он замещался другими столь же одиозными приказами, суть которых не изменяется вплоть до наших дней⁴³.

Министерские приказы, спущенные вниз по «вертикали власти», покорно превращались в директорские приказы по институтам, которые в свою очередь становились обязательными для всех научных сотрудников. Раз в год вся научная рать страны, от Калининграда и Кольского полуострова до Магадана и Владивостока, плюясь и возмущаясь (не публично), занимается этим весьма сомнительным делом (первые отчеты были затребованы за 2005–2006 годы). Жаль, что никто из экономистов не посчитал, во сколько обходились и обходятся такие бюрократические затеи. Многочисленные примеры институтских приказов с указаниями сотрудникам, как исчислять ПРНД и сколько баллов присуждается за ту или иную категорию публикаций, можно легко найти в интернете.

Уже с самого начала в требования были включены публикации, индексированные в *WoS* и *Scopus*, счи-

⁴² <https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=328a9bb8-b7ba-4275-93f6-f63698c471d9>.

⁴³ Документы Министерства образования и науки Российской Федерации см. <https://rulaws.ru/minobrnauki/>.

тавшие наиболее приоритетными и престижными, а также из списков РИНЦ и ВАК. Тем не менее первоначально всё же учитывались все публикации сотрудников, даже не входившие в эти списки, включая тезисы докладов и материалы конференций. Однако далее абсурд нарастал, и в итоге публикации из изданий вне указанных списков в приказном порядке перестали включаться в отчетность. Какому умнику эта идея пришла в голову, к сожалению, неизвестно. В результате тысячи статей, написанные сотрудниками, но опубликованные во внесписочных журналах, в сборниках или материалах конференций, как бы перестали существовать, хотя многие из них весьма полезны и ранее оценивались бы положительно.

Помимо индивидуального показателя, ПРНД рассчитывался и для научных организаций, для чего федеральными органами власти, включая государственные академии, создавались соответствующие комиссии (см. например, Приказ Минобрнауки РФ от 14 октября 2009 года № 406)⁴⁴.

Ориентация российской компрадорской бюрократии на формальные библиометрические индексы в оценке эффективности работы ученых с упором на коммерческие *WoS* и *Scopus*, даже несмотря на то, что в научно развитых странах Европы и США от этих критериев стали отказываться (см. выше), нанесла заметный вред отечественной науке, особенно для российских журналов (см. ниже). К сожалению, *управленческая лысенковщина* в нашей науке продолжается уже 18 лет, с косметической заменой одних индексов и списков на другие (см. ниже).

Еще один аспект бюрократического абсурда в ПРНД проявился в учете участия ученых в научных конференциях. Само по себе это полезно, если бы в ПРНД не нашло отражение стремление наших «эффективных менеджеров» к гигантомании, удобной для докладов «наверх». Если сначала в ПРНД попадали все научные собрания, то затем принимались лишь те, где число участников было не менее 150 человек, потом планку подняли до 200. Однако часто наиболее эффективны выступления как раз на относительно небольших по численности конференциях, научных собраниях и семинарах, где собираются специалисты по данной научной проблематике и где есть возможность в деталях обсуждать возникающие научные вопросы. Подготовка к большому серьезному докладу на научном семинаре подчас требует гораздо больше времени, нежели стандартный, более краткий доклад на конференции. Однако теперь они не попадают в ПРНД, баллы за них не начисляются и «стимулирующая» надбавка не увеличивается. Что она в таких случаях «стимулирует»: отказ от традиционного научного общения и «показуху», выражаясь армейским языком?

⁴⁴ <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=149267>.

Особенно в отчетах ПРНД котируются конференции (симпозиумы, конгрессы) *международного* уровня. Естественно, это вызвало повсеместную ответную реакцию по «очковтирательству», умельцы по которому всегда были в нашей стране в достатке. Стали приглашать по несколько западных коллег (хотя бы онлайн или в качестве соавторов) или за неимением их – русскоязычных коллег, например, из республик Средней Азии или Кавказа. Все конференции сразу же становились «международными», или, по крайней мере, «российскими с международным участием»!

Научная карьера. Бюрократический хайп от библиометрии не мог не коснуться служебного положения самих научных сотрудников, а не только оценки качества их публикаций. Судя по копиям приказов, начиная с 2007 года (например, совместный приказ Минобрнауки, Минздравсоцразвития и РАН от 23 мая 2007 года № 144/352/33), имеющих в нашем распоряжении, квалификационные требования к научным должностям стали включать сначала публикации из списка ВАК (российские и зарубежные), а потом из РИНЦ, *WoS* и *Scopus*.

Например, в сведения о научной и научно-организационной деятельности научных сотрудников, представляемые в связи с переаттестацией в 2018 году, входили следующие параметры: число публикаций в РИНЦ (в том числе за последние 5 лет), число публикаций в изданиях списка ВАК, индекс Хирша по РИНЦ, индекс Хирша по *WoS* (все базы данных), число публикаций в *WoS* и *Scopus* (в том числе за последние 5 лет).

Ранжирование российских журналов ВШЭ. В 2014 году Высшая школа экономики (ВШЭ) начала разрабатывать собственный проект по экспертному ранжированию российских научных журналов. Во многом это было обусловлено внутренними причинами, так как прием на работу научно-педагогических работников и назначение им надбавок к зарплате сопровождается в ВШЭ оценкой их публикационной активности. Значение имеет не только количество, но и качество публикаций, о котором можно судить в том числе по статусу научных журналов, в которых они появляются. По мнению руководства, в ВШЭ понимают несовершенство любых систем формальных количественных измерений, но игнорировать их невозможно. В международных базах российских журналов социально-экономической тематики почти нет, а к «рейтингу» РИНЦ есть немало вопросов. Тем не менее проект ВШЭ не призван заменить РИНЦ. Это, скорее, еще один, дополнительный инструмент для оценки качества журналов.

Проект был представлен 8 апреля 2024 года на круглом столе в рамках XVI Апрельской международной научной конференции «Модернизация экономики и общества» (см. [36]). Для оценки были взяты россий-

ские журналы (за исключением ежегодников), присутствующие в базе РИНЦ. Они были распределены по 13 тематическим направлениям на основе классификатора, используемого в ВШЭ. В оценку не были включены журналы по химии, биологии и другим естественным наукам. Сначала по каждому тематическому направлению отбиралось не менее семи экспертов верхнего уровня, а затем каждый из них предлагал еще не менее 25 кандидатур конечных экспертов. Всего к участию в проекте было привлечено 630 экспертов, которые заполнили больше 10 тысяч анкет (по каждому отмеченному им журналу). Ответы аффилированных с журналом респондентов не учитывались. На основе этих анкет журналы по каждому направлению были распределены по трем группам: высокого уровня и широкого профиля (группа А1), высокого уровня, но узкого профиля (А2) и среднего уровня (В).

В итоге по 8 из 13 направлений (прикладная математика, компьютерные науки, менеджмент, право, психология, история, экономика, социология) эксперты не смогли выделить ни одного журнала высшей категории (А1), а по психологии – ни одного журнала даже категории А2. В некоторых случаях это связано с сильной специализацией журналов внутри одного направления (например, журналы по различным отраслям и сферам права). В области компьютерных наук, по мнению экспертов, основным способом представления результатов научных трудов являются не публикации в журналах, а выступления на международных конференциях. Обещано, что подробный отчет о методологии и полные результаты проекта будут опубликованы на сайте НИУ ВШЭ в ближайшее время.

Как заметил в ходе дискуссии генеральный директор eLIBRARY.ru Г.О. Ерёмченко, два подхода к оценке журналов (библиометрический и экспертный) достаточно сильно отличаются друг от друга, в том числе по конечному результату. Библиометрический подход оправдывает себя лишь в тех случаях, когда все участники процесса (журналы, ученые и рецензенты) соблюдают определенные правила научной этики. В этом смысле сравнение результатов библиометрии и экспертной оценки может служить мерилем уровня научной этики в конкретных областях знания. Поэтому, как было обещано, отбор журналов для их размещения в базе данных *Russian Science Citation Index* на платформе *WoS* будет опираться не только на библиометрию, но и на мнения экспертов, будет использован опыт, полученный авторами проекта из ВШЭ (см. [36]).

Протесты научного сообщества. Формальные наукометрические критерии, насаждаемые Минобрнауки РФ сверху, вызывают возмущение у большинства научных работников. Очевидно, что по числу цитирований невозможно в полной мере оценить реальный вклад ученого в науку [34]. На ошибочность внедрения этих формальных показателей для оценки ученых ука-

зывали на Первом профессорском форуме в Москве 1 февраля 2018 года [3]. На 4-й конференции научных работников РАН, состоявшейся 27 марта 2018 года в Физическом институте РАН (Москва), в ряде докладов членов РАН была показана несостоятельность наукометрических методов оценки деятельности ученых и неприменение их во многих ведущих университетах Европы и Северной Америки. Против неадекватного использования наукометрии выступают многие члены Санкт-Петербургского союза ученых.

Тем не менее федеральные чиновники настойчиво продолжали проталкивать наукометрию. 14 января 2020 года Минобрнауки РФ направило письмо «О корректировке Государственного задания с учетом методики расчета комплексного балла публикационной результативности» (№ МН-8/6-СК от 14.01.2020). 6 февраля того же года Ученый совет Института философии РАН выступил с резкой критикой предлагаемой методики, фактически обвинив Минобрнауки РФ в пренебрежении к общественным и гуманитарным наукам, к русскому языку и духовному развитию страны. В письме справедливо указывалось, что

«<...> критерии оценки социогуманитарной сферы выносятся за пределы страны и отдаются на откуп двум коммерческим иностранным компаниям – *WoS* и *Scopus*. Такого нет ни в одной из развитых стран мира. В результате вектор научной деятельности в социогуманитарной сфере будет определяться политикой этих организаций, а не собственной логикой и потребностями российской науки и не отечественным научным сообществом. Следует учитывать, что наиболее важные и актуальные темы российских общественных наук и отечественной гуманитаристики могут и должны обсуждаться прежде всего на русском языке, в российском научном сообществе и публичном пространстве, а не в западных журналах, часто обходящих эти проблемы по соображениям как тематической, так и идейно-политической ориентации. Гипертрофированный акцент на *WoS* и *Scopus* ведет к вытеснению русского языка из сферы социогуманитарных наук, а в перспективе – и из сферы интеллектуальной культуры» (https://iphras.ru/pismo_06_02_2020.htm).

10 февраля 2020 года Ученый совет Института мировой литературы имени А.М. Горького РАН также заявил протест, отметив вред, который может нанести гуманитарным наукам исполнение столь необдуманного решения Минобрнауки РФ⁴⁵. Была выражена солидарность с заявлением академика-секретаря Отделения историко-филологических наук РАН В.А. Тишкова, прямо указавшего на ущербность библиометрических показателей.

⁴⁵ <https://imli.ru/2020/4011-zayavlenie-uchenogo-soveta-institutamirovoj-literatury-im-a-m-gorkogo-rossijskoj-akademii-nauk-po-voprosu-otsenki-publikatsionnoj-rezultativnosti-nauchnykh-organizatsij-gumanitarnogo-profilja>.

11 февраля 2020 года протестное письмо министру В. Фалькову было направлено Музеем этнографии и антропологии имени Петра Великого (Кунсткамера) РАН. В нем указывалось, что под угрозу ставится сущность научной деятельности, что подмена науки наукометрией ведет к ее деградации до стадии имитации научной деятельности⁴⁶.

Несогласие с навязыванием западных наукометрических показателей и с ненормальностью сложившейся ситуации выразил ряд институтов, подведомственных федеральному Министерству культуры. Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачева направил в Минобрнауки письмо (№ 390-ВА-ВА от 19.08.2021) по поводу проекта постановления Правительства РФ об утверждении государственной программы «Научно-техническое развитие Российской Федерации», в котором в очередной раз указывалось на необходимость роста российских статей в базе *WoS*. В письме справедливо отмечалось, что в сфере гуманитарных наук издание монографий, коллективных трудов, энциклопедий, архивных документов, словарей и т. д. гораздо важнее, чем публикация статей, которые «имеют дополнительное, но не определяющее значение»⁴⁷.

Бюрократическое применение библиометрии и ориентация только на так называемые высокорейтинговые журналы не только искажает реальную картину многогранной деятельности ученых, но оно опасно тем, что на этой основе принимаются неправильные административные решения относительно продвижения ученых по службе. Известны случаи понижения в должности и даже увольнения научных сотрудников на основе низких формальных индикаторов.

Показателен нашумевший случай с выдающимся петербургским математиком Г.Я. Перельманом, который решил одну из семи величайших математических загадок (теорему Пуанкаре), но не имеет ни одной ссылки, поскольку не публикует свои работы в научных журналах, представляя результаты своих исследований в интернете либо в других источниках [20]. Тем не менее в 2006 году он был номинирован на Филдсовскую премию (самая престижная премия по математике для ученых до 40 лет, аналог Нобелевской премии) за две электронные статьи на сайте *arxiv.org.*, которые формально не считаются журнальными [25]⁴⁸. С очень показательным комментарием о таком необычном поведении выступил директор Петербургского отделения Математического института РАН С.В. Кисляков [16]:

⁴⁶ См. https://www.kunstkamera.ru/news_list/science/obrashchenie-uchenogo-soveta-mac-ran-k-ministru-nauki-i-vysshego-obrazovaniya-valeriyu-falkovu/.

⁴⁷ Копия письма имеется в архиве авторов данной статьи.

⁴⁸ В 2010 году частный фонд Математический институт Клэя (The Clay Mathematics Institute, США) присудил Г.Я. Перельману премию в 1 миллион американских долларов, от которой тот отказался.

«<...> оно – редкий пример абсолютного примата Сути над видимостью. В бюрократических системах действует противоположный принцип, сформулированный, кажется, Паркинсоном (известным памфлетистом): грамм видимости дороже килограмма сути.

Печально наблюдать за тем, как в последние годы бюрократы упорно стремятся ввести этот принцип в оценку эффективности фундаментальных исследований, ставя во главу угла всевозможную видимость вроде импакт-фактора, индекса цитирования, числа публикаций, числа страниц в монографиях, числа патентов и т. п.

Беда в том, что, хотя нормальному человеку заниматься таким делом глубоко противно, технически эта видимость легко обеспечивается – в общем так и происходит в тех странах, где упомянутые формальные показатели уже актуальны. Последствия легко просчитать: при полном торжестве этой системы в ее бюрократическом идеале решить еще одну “проблему тысячелетия” (неважно, в математике или нет) в России уже вряд ли получится.

В мае 2008 года накануне выборов в РАН тогдашний вице-президент РАН Г.А. Месяц [20] на вопрос об индексах цитирования работ у кандидатов в президенты академии ответил, что

«<...> для нас это не самый важный показатель. Мы их [кандидатов] достаточно хорошо знаем и можем оценить достоинство каждого без каких-либо внешних факторов».

Но ведь это применимо не только к кандидатам в президенты РАН и к членам академии, но и ко всем научным сотрудникам, которые собственно и проводят научные исследования.

Последствия ошибочной наукометрической политики для российской науки

Как справедливо заметил еще в 2014 году Г.О. Ерёмченко [10: 147],

«...конечно, жизнь гораздо сложнее любых, самых хитроумных показателей. Поэтому и сам Гарфилд, и многие специалисты по наукометрии, и мы вслед за ними постоянно повторяем, что нельзя полагаться только на цифры. Они полезны для статистического анализа исследований, но оценивать конкретных ученых или отдельные статьи только по индексу цитирования без экспертной оценки нельзя. В общественных науках это еще очевиднее, чем в естественных».

Главными толкачами порочной системы наукометрических показателей в нашей стране следует признать федеральное руководство наукой. Последнее не раз спускало вниз «по вертикали власти» через Минобрнауки РФ приказы, которые послушно выполнялись руководителями научных учреждений. При этом мнение возмущенной научной общественности

полностью игнорировалось⁴⁹. Руководство РАН также внесло свою лепту в библиометрию, подписывая совместные приказы с Минобрнауки РФ (см. выше), а также в национальном аспекте, в течение нескольких лет составляя базу ведущих российских журналов Russian Science Citation Index (RSCI), как об этом поведал вице-президент РАН А.Р. Хохлов (см. [35]).

Неразумная наукометрическая политика, насаждаемая Минобрнауки РФ в течение многих лет, нанесла заметный вред развитию отечественной науки.

1. Резко сократился поток статей в российские журналы, несмотря на бесплатность публикации в них. Их качество в целом также понизилось, так как более «сильные» рукописи посылаются за рубеж. Это коснулось даже журналов, которые переводились на английский язык. Некоторые известные журналы, например «Экология» (Екатеринбург, в английском варианте *Russian Journal of Ecology*), были вынуждены публично посылать сигнал «SOS» из-за нехватки поступивших рукописей. В еще большей степени были затронуты менее известные или региональные журналы.

Это привело к недооценке роли публикаций в отечественных журналах, занижению их рейтингов и, как следствие, сокращению публикации научных трудов на русском языке, что увеличивает образовательный разрыв в обществе и затрудняет формирование интереса к науке у молодежи.

2. Параллельно с этим падала доля опубликованных на русском языке не только результатов качественных оригинальных научных исследований, но и обзорных статей, роль которых, в первую очередь, состоит в первичной систематизации данных, а также в расширении аудитории с привлечением обучающихся всех уровней. Это сокращает доступность достижений науки для широких слоев, что не может не оказывать негативного влияния на подготовку кадров.

3. В научной среде развивается пренебрежение к российской науке в целом, а также к статьям, журналам и научным сотрудникам, публикующимся в отечественных журналах.

4. Происходит негативное изменение в понимании ценностей науки и ее национальных интересов, особенно у молодых научных сотрудников.

5. Все это, а также зависимость от необходимости публиковаться в зарубежных журналах проявляется в ущербности поведения, вплоть до принятия унижительных ограничений со стороны иностранных из-

⁴⁹ Формально призывы «разработать новую систему оценки с учетом мнения профессионального и экспертного сообщества» раздаются на высоком уровне, в том числе министром (с 21 января 2020 года) науки и высшего образования В.Н. Фальковым (см. [35]). Однако наше «глубинное государство» (бюрократический аппарат) знает, что надо делать, и весьма преуспело в отписках разной длины, которые регулярно получает, например, Санкт-Петербургский союз ученых в ответ на свои озабоченности в области науки.

дательств (см. ниже), и сказывается на политическом восприятии происходящего.

Однако остается вопрос, а зачем же тогда платить огромные средства за публикации в «авторитетных» зарубежных изданиях с высокими показателями импакт-фактора? А дело в том, что таковы условия выполнения показателей эффективности освоения средств, выделенных на научные исследования. Неповоротливая система, дополнительно связанная коррупционными механизмами, создала кормушку для издателей. Для ученых же из нашей страны в последнее время это дополнительно отягощено сложностями перевода средств за границу, зачастую в так называемые «недружественные страны». По сути, если раньше заставить платить за такую публикацию ученого могло только его личное тщеславие, то сейчас это – вынужденная необходимость, без которой невозможно выполнить условия финансирования, будь то исследования по грантам, или госзадание в научной организации.

Парадокс состоит в том, что на издательские цели зарубежных компаний расходуются бюджетные средства страны, выделяемые на проведение исследований и заработную плату. При этом финансирование идет на поддержку уже раскрученных коммерческих западных изданий, а не на популяризацию и поддержку собственных российских научных журналов, которые вынуждены прозябать в нищете и закрываться.

Тем не менее некоторые отечественные журналы *принципиально* не желают вступать в бюрократические «игры» со *Scopus* и *WoS*, сохраняя свою независимость (см. [8]). Имеется немногочисленная часть научных сотрудников, которая, в том числе и на принципиальной основе, продолжает публиковаться в российских журналах, не входящих в *Scopus* и *WoS*, понимая при этом, что теряет деньги при балльной оценке их деятельности (ПРНД, см. выше). Такое поведение журналов и научных сотрудников можно расценивать как сознательную оппозицию компрадорской политике Минобрнауки РФ.

Порочная наукометрия в условиях западных санкций и проведения специальной военной операции

Итак, на протяжении десятилетия сменяющие друг друга федеральные министры, отвечающие за науку и образование, А.А. Фурсенко (2004–2012), Д.В. Ливанов (2012–2016), О.В. Васильева (2016–2018), М.М. Котюков (2018–2020) и В.Н. Фальков (с 2020) настойчиво проводили линию на приоритетное использование наукометрических критериев *Scopus* и *WoS* и публикаций за рубежом, полностью игнорируя возмущение научного сообщества. Кстати, такое постоянство при разных министрах позволяет сделать вывод, что решения в области науки принимаются в другом, более

важном месте, в Администрации Президента России (вероятно, Управление по научно-образовательной политике), а Минобрнауки РФ лишь послушно их выполняет⁵⁰. В какой-то мере поставить под сомнение эту пагубную политику, хотя бы на бумаге, помог сам Запад, введя жесткие ограничения.

Санкции против России, начатые в 2014 году (возвращение Крыма), приняли лавинообразный характер после начала российской специальной военной операции (СВО) на востоке Украины (24 февраля 2022). Политика русофобии и «отмены России» довольно быстро затронула и научные связи, которые стали сворачиваться западными партнерами в одностороннем порядке. Уже 25 февраля Массачусетский технологический институт (Massachusetts Institute of Technology, USA) прекратил свое многомиллионное партнерство со Сколковским институтом науки и технологий [133]; последний был внесен в западные санкционные списки.

3 марта 2022 года Европейская Комиссия (the European Commission) остановила подготовку соглашения с Россией по программе «Горизонт» (the Horizon Europe research program), а также решила не участвовать в дальнейших совместных проектах⁵¹. Национальные научные советы Франции, Германии, Италии и Нидерландов также заморозили свои отношения с нами [133].

11 марта компания Clarivate, владеющая *WoS*, объявила о прекращении своей деятельности в России, закрыв свой офис⁵². Этот список можно было бы дополнить многими другими примерами.

В связи с этим давно накипевший вопрос о необходимости новой национально-ориентированной политики в области науки достиг, наконец-то, высокого федерального уровня. Постановление Правительства РФ от 19 марта 2022 года № 414 «О некоторых вопросах применения правовых актов Правительства Российской Федерации, устанавливающих требования, целевые значения показателей по публикационной активности» **отменило** до 31 декабря 2022 года требования по наличию публикаций в журналах, индексируемых в *WoS* и *Scopus*, по участию в зарубежных конференциях, к целевым значениям показателей, связанных с этим, при оценке результативности и эффективности деятельности научных работников и учреждений, а также при осуществлении мер государственной поддержки (предоставлении грантов, грантов в форме субсидий, субсидий из федерального

бюджета). Позже действие Постановления было продлено до 31 декабря 2024 года⁵³.

Было решено создать *Национальную систему оценки результативности научных исследований и разработок*, что было поручено курировать заместителю Председателя Правительства РФ Д.Н. Чернышенко, отвечающему за государственную политику в сфере науки⁵⁴. На ее обсуждении 22 марта 2022 года министр науки и высшего образования РФ В.Н. Фальков заявил:

«Однако сегодня мы вынуждены констатировать примеры недружественных действий со стороны зарубежных коллег, которые занимают политическую позицию и отказываются от сотрудничества с нашими учеными. В этой связи мы предлагаем пересмотреть требования к наличию у ученых публикаций в зарубежных научных изданиях, включенных в системы цитирования *WoS* и *Scopus* при выполнении федеральных проектов и программ, а также государственных заданий на научные исследования. При этом необходимо разработать новую систему оценки с учетом мнения профессионального и экспертного сообщества» (см. [35]).

Как было отмечено в пресс-релизе на сайте Минобрнауки, на прошедшем заседании экспертное сообщество отметило, что в числе наукометрических показателей, используемых для оценки научной деятельности, также учитывается количество докладов на ведущих *международных* научных конференциях, в том числе за *рубежом*, доля статей в соавторстве с *иностранными* учеными в общем числе публикаций, участие *иностранных* ученых в научных исследованиях и т. д. (см. [35]).

Заметим, что эти показатели неназванные эксперты рекомендовали **после** начала СВО, введения жесточайших западных санкций и массовой отмены сотрудничества с российскими научными учреждениями (!). В качестве скандального примера можно привести решение ЦЕРНа (CERN: *Conseil européen pour la Recherche nucléaire, Европейский совет по ядерным исследованиям*), крупнейшей в мире организации по ядерным исследованиям, которая в марте 2022 года приостановила статус России как страны-наблюдателя «из-за вторжения на Украину». В декабре 2023 года ЦЕРН объявил о прекращении сотрудничества с Россией с ноября 2024 года, проголосовав за исключение нашей страны из списка своих партнеров, а также за окончание работы на коллаидере ученых с аффилиацией в российских институтах и вузах (см. ЦЕРН, *Википедия*). Это коснулось 500 человек, рабо-

⁵⁰ Однако такое происходит не всегда. Так, Минобрнауки вместе с Министерством финансов РФ успешно провалили майский (2012) Указ Президента России о повышении зарплаты ученым до двойной (200%) от средней по региону. Ответственности за невыполнение этого указа никто из высокопоставленных чиновников не понес (см. [4]).

⁵¹ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_22_1528.

⁵² <https://clarivate.com/news/clarivate-to-cess-all-commercial-activity-in-russia/>.

⁵³ Постановление было изменено и дополнено 19 сентября 2022 года и 10 ноября 2023 года (см. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203210040?index=2> и <https://base.garant.ru/403731094/#friends>).

⁵⁴ В нее входят, помимо прочих, также оценка результатов деятельности научных организаций и государственная политика в сфере аттестации научных кадров (см. <http://government.ru/rugovclassifier/59/events/>).

тавших в ЦЕРНе. Данный случай получил широкую публичную огласку благодаря средствам массовой информации, тогда как о множестве других западных отказов меньшего масштаба российские учреждения деликатно умалчивают.

«У нас есть наработки для создания собственной, суверенной, отвечающей интересам Российской Федерации системы оценки научной деятельности. Сегодня, с учетом текущей ситуации, требуется взвешенный и прагматичный подход, основанный на национальных интересах, в том числе в области наукометрии и публикационной активности. Необходимо предложить принципиально новые показатели, индикаторы и оценки исследовательской деятельности, задать ориентиры для работы не только отдельного ученого, но и больших и малых научных коллективов, лабораторий, университетов и НИИ», – сказал глава Минобрнауки России В.Н. Фальков [35].

Среди выступивших в дискуссии вице-президент РАН академик А.Р. Хохлов обратил внимание на возрастание роли *экспертной* оценки деятельности ученых и на наличие полноценного корпуса экспертов (порядка 5000 человек), сформированного РАН. Он также призвал расширить использование базы ведущих российских журналов *Russian Science Citation Index (RSCI, 897 журналов)*, статьи в которых в текущих условиях могут приравниваться к публикациям в журналах из списков *WoS* и *Scopus*. Это было бы значимой мерой поддержки российских научных журналов (см. [35]).

Весьма здравые соображения, отражающие мнение большинства научных сотрудников, высказал главный ученый секретарь Объединенного института ядерных исследований С.Н. Неделько, который прямо выступил против использования наукометрических индексов для оценки деятельности ученых [35]. Он справедливо заметил, что целью науки является получение фактических научных результатов, которые, как правило, плохо поддаются измерению примитивными наукометрическими средствами. Настойчивые попытки измерения и непрерывный контроль научного процесса всегда искажают, а зачастую и полностью разрушают исходное целеполагание. Многолетнее доминирование формальных наукометрических подходов к оценке научной деятельности, глубоко встроенное в нормативную правовую базу сферы исследований и разработок, приводит к *грубому дисбалансу* между естественным для исследователя стремлением решать новые сложные научные задачи и проблемы и вынужденным жестким следованием общепринятой конъюнктуре ради высоких наукометрических показателей с недопустимым перекосом в пользу последней. «Применять наукометрию непосредственно для управления наукой на микроуровне (отдельные ученые и небольшие коллективы, ор-

ганизации), на мой взгляд, *недопустимо*» (выделено нами. – Л.Б., А.С.).

Однако на этом совещании С.Н. Неделько оказался единственным, кто занял такую позицию. Остальные остались в плену наукометрических заблуждений, заявив политически корректно о необходимости в условиях антироссийских санкций больше ориентироваться на отечественные журналы и показатели. Таким образом, смены парадигмы в критериях оценки деятельности ученых, увы, не произошло.

29 июля 2022 года Постановлением Правительства РФ № 1357 Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), относительно хорошо работавший и непонятно зачем ликвидированный, был преобразован в Российский центр научной информации (срок его работы был утвержден до 31.12.2023). Задача РЦНИ была определена следующим образом: «предложить новую национальную систему оценки результативности НИР». За основу был взят метод установления качества периодического научного издания, разработанный ВШЭ на основе ранее предложенного алгоритма РИНЦ.

В апреле 2022 года, то есть, получается, еще до своего формального рождения, Российский центр научной информации запустил собственный **индекс научного цитирования** (ИЦ РЦНИ), что было вызвано отказом компаний Clarivate и Elsevier предоставлять российским ученым доступ к своим сервисам. ИЦ РЦНИ содержит более 1,98 миллиарда цитирований и ежемесячно пополняется из российских и доступных зарубежных баз данных.

Сведения о цитирующих и цитируемых публикациях собирали из баз данных *CrossRef, COCI, Dimensions, Semantic Scholar, Scopus* и других. Объявлено, что значения метрик, получаемых с помощью ИЦ РЦНИ, сопоставимы со значениями из международных индексов цитирования (подробнее см. [18]). Для резидентов Российской Федерации доступ бесплатный и предоставляется по запросу (см. <https://rcsi.science/activity/data/indeks-tsitirovaniya-rtzni/>).

Минобрнауки РФ по поручению заместителя Председателя Правительства РФ создана Межведомственная рабочая группа по формированию и актуализации так называемого «Белого списка» научных журналов (протокол совещания у заместителя Председателя Правительства РФ от 27.06.2022 № ДЧ-П8-60 пр), которая регулярно утверждает актуальную версию этого списка и публикует ее на сайте Российского центра научной информации (РЦНИ)^{55, 56}. Был также

⁵⁵ Российский центр научной информации, Москва (РЦНИ, <https://rcsi.science/org/>), в прежней жизни Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), появился по Постановлению Правительства России от 29 июля 2022 года № 1357 и выполняет функцию оператора «Белого списка». См. также <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202208020006>.

⁵⁶ Список журналов см. <https://journalrank.rcsi.science/ru/record-sources/>.

запущен веб-портал «Национальная платформа периодических научных изданий» (см. <https://rcsi.science/activity/zhurnalnaya-platforma/>).

Как сообщается на сайте РЦНИ, «Белый список» был создан «в целях обеспечения мониторинга и оценки публикационной активности». Он «содержит регулярно обновляемую информацию об индексации журналов в более чем 20 международных общих и специализированных базах данных и сервисах». На основе показателей цитирования статей в них за предыдущие годы с ранжированием по областям знаний журналы были разделены на три категории. Таким образом, это уже третья попытка (после РИНЦ и ВШЭ). Однако суть осталась прежней.

На наш взгляд, это можно расценивать как некое ограничение прав авторов в том, как и где публиковать свои достижения, а согласно Закону о науке РФ таких ограничений быть не должно. К тому же это не способствует появлению и развитию новых научных изданий, в которых могут печататься весьма полезные статьи, и сужает публикационную деятельность ученых новыми административными рамками. Создание в России официальных списков не спасает от попадания в них сомнительных журналов и, как любое ограничение, способствует коррупции. Как отмечалось ранее, только в России появляется около 200 изданий в год, а старых «отмирает» около 20–40. За последние 15–20 лет количество журналов в мире удвоилось [10].

Исходя из постановления Правительства и заявления министра науки и высшего образования РФ, условия оценки деятельности научных сотрудников с упором на западные журналы *WoS* и *Scopus*, казалось бы, должны были быть изменены еще два года назад. Однако, как сообщают нам ученые из разных регионов страны⁵⁷, в реальности этого не произошло.

Например, даже в феврале 2023 года, то есть спустя год после начала специальной военной операции, для аттестации на научные должности требовалось иметь: главному научному сотруднику – не менее 7 статей в журналах, индексируемых в *WoS* и *Scopus* (из них 2 с рейтингом не ниже Q2); ведущему научному сотруднику – 6 и 2, соответственно; старшему научному сотруднику – 4 статьи в журналах *WoS* и *Scopus* (из них 1 с рейтингом не ниже Q3); научному сотруднику – 3 статьи в журналах *WoS* и *Scopus*, а младшему научному сотруднику – 2.

Требования по грантам Российского научного фонда (РНФ), полученным до начала СВО, также фактически, несмотря на некоторую лакировку, остались прежними. Это привело к тому, что руководители и

⁵⁷ По просьбе научных сотрудников их фамилии и названия учреждений, в которых они работают, нами не упоминаются. Некоторые участники 33-й годичной конференции Санкт-Петербургского союза ученых, прошедшей 20 апреля 2024 года, также подтвердили, что от них требуют публикаций в журналах *WoS* и *Scopus*.

исполнители по грантам были вынуждены искать способы оплаты публикаций, прибегая к услугам посредников, иностранных банков. Зачастую для этого они обналачивали средства, выделенные на проведение научных исследований, с целью перевода их в так называемые недружественные страны, проводящие антироссийскую политику.

Анализ сетевой переписки между грантодержателями РНФ показывает, что они стали искать различные способы публикации статей за рубежом, чтобы можно было отчитаться перед фондом. Один из вариантов – поиск приемлемого баланса между статусом журнала, стоимостью и скоростью публикации статьи в нем. Пусть рейтинг журнала менее высок, но важно, что он индексируется в *WoS* и *Scopus*, быстро публикует представленные статьи и требует меньшую оплату за публикацию. Однако некоторые такие журналы, внешне привлекательные для исполнителей по грантам, стали выставлять свои политические условия.

В качестве примера можно привести журнал *Method X* издательства Elsevier, стоимость публикации в котором составляет всего 840 американских долларов. Журнал, конечно, числится в списках *Scopus*, которым владеет Elsevier. После принятия статьи в печать от российских авторов требовалось собственноручно поставить галочку, подтвердив согласие с политикой журнала, согласно которой на период СВО тот переводит все средства, полученные из России, на поддержку вооруженных сил Украины. Таким образом, отечественные исследователи-исполнители по грантам ставятся в условия морально-политического выбора.

После начала СВО ряд ученых, научных обществ и других организаций за рубежом под воздействием агрессивной политической пропаганды стали призывать к полному и повсеместному бойкоту российских коллег, в том числе к запрету на их участие в конференциях и к отказу в публикации их статей в журналах. Особенно большую активность в этом направлении развернули украинские научные сотрудники, проживающие как на Украине, так и вне ее [87, 106, наши данные].

Тем не менее многие западные организации, например, Международный астрономический союз (International Astronomical Union), университеты в Британии и других странах, как и многие, если не большинство журналов, отказались присоединиться к украинским призывам бойкотировать российскую науку [133]. Их позицию четко выразил знаменитый журнал *Nature*, который в своей редакционной статье от 4 марта 2022 года [58] сообщил, что продолжит прием рукописей, поскольку бойкот принесет больше вреда, нежели пользы.

По мнению журнала, бойкот разделит мировое научное сообщество и ограничит обмен научными знаниями, что может нанести ущерб здоровью и благополучию человечества и планеты. Возможность

свободно распространять исследования и знания через национальные границы была основополагающей для науки и международных отношений и сохранялась во время некоторых из самых страшных исторических конфликтов в мире.

Примерно таких же взглядов придерживаются и *British Medical Journal* [37], *Brain Communications* и многие другие журналы.

Однако ряд организаций и журналов под влиянием русофобии принимают недружественные меры в отношении российских авторов. Статьи последних принимают к печати, но при этом не публикуют сведения о принадлежности к российским учреждениям, в котором авторы работают. Такую политику с 27 марта 2023 года проводит уже упоминавшийся ЦЕРН. Научные сотрудники из России и Белоруссии могут публиковаться в его статьях, но только без указания их аффилиации (см. ЦЕРН, *Википедия*).

Недавно, как нам стало известно, к отказу российским авторам в указании их аффилиации присоединилось международное издательство Wiley (*Journal of Morphology*), расположенное в США, объясняя это необходимостью соблюдения введенных против России международных санкций. Поэтому российские авторы могут публиковаться только как частные лица, не связанные с государством (по аналогии с нейтральным статусом российских спортсменов на Олимпийских играх).

Можно привести и другие примеры. Вопиющий случай произошел с одной статьей [114], опубликованной московским зоологом А.Н. Решетниковым с большим числом соавторов в январе 2023 года в журнале *Neobiota* (София): указания на аффилиацию лишили сразу 19 граждан России (unaffiliated!). Однако даже в таком виде, как написал один из авторов, опубликовать статью было невероятно трудно. Для всех других соавторов по данной статье из разных стран, включая даже Белоруссию, аффилиация была сохранена.

Эта явная массовая политическая дискриминация ученых (российских авторов) нарушает принципы научной этики и прав человека, а в случае самого журнала, принадлежащего болгарскому издательству Pensoft, противоречит и правилам его этики. На их сайте (см. <https://neobiota.pensoft.net/about#Policies>) имеется четкое утверждение о том, что “Neobiota” занимает позицию *нейтральности по геополитическим* проблемам, включая *территориальный* аспект. В редакционной политике журнала также утверждается, что они не принимают решения об аффилиации авторов.

Давлению могут подвергаться даже западные коллеги российских авторов. Нам известен случай, когда в одном европейском журнале после извещения российского автора об отмене его аффилиации молодой соавтор предложил в знак солидарности снять также и свою аффилиацию. Реакция последовала не только в

журнале, но и в университете, где его предупредили, что в таком случае статья не будет учтена при защите диссертации.

В статьях, по крайней мере, некоторые украинские исследователи, даже находясь в составе международного авторского коллектива, стали выражать благодарность вооруженным силам Украины. Соответственно, перед российскими учеными сразу возникает дилемма: что делать? Отказаться от участия в данной, может быть, неплохой с научной точки зрения статье или остаться в авторском коллективе, получив потом хороший балл в отчете по ПРНД (см. выше). Однако в последнем случае российские авторы автоматически становятся соучастниками публичной благодарности ВСУ и тем самым вступают в противоречие с текущим российским законодательством (и, возможно, со своей совестью). Принципиальные ученые, конечно, не соглашаются, но не всё так просто.

Вопрос об отношении к отмене аффилиации был вынесен на обсуждение в одном научном сетевом сообществе. К сожалению, у целого ряда молодых научных сотрудников такие заведомо дискриминационные политические действия не вызвали никакого удивления или сопротивления. Более того, они полагают, что ради публикации по гранту вполне можно пойти на соглашения и даже унижения, поскольку без статей в западных журналах из списков *WoS* и/или *Scopus* они могут остаться без грантов и потерять в зарплате при составлении годовых отчетов в своих учреждениях (ПРНД, от которого зависит так называемая стимулирующая надбавка в зарплате).

Выбор гражданской позиции не для всех научных сотрудников является легким делом. Известно, что многие из них лично не поддерживают проведение СВО на Украине. Однако сохранение западных показателей в требованиях к отчетам, заявкам на гранты, учет их при аттестации научных сотрудников заставляет подчас даже тех, кто нейтрален или согласен с СВО, идти на соглашения и принимать унижительные требования некоторых журналов.

На наш взгляд, моральная ответственность в немалой степени ложится не только на самих российских авторов, но и на тех администраторов, которые своими неразумными наукометрическими требованиями прямо или косвенно вынуждают сотрудников, особенно молодых, к такому поведению.

Проведенный нами небольшой опрос научных сотрудников показал, что библиометрические требования к персональным отчетам за 2022 и 2023 годы, выраженные в квартилях по публикациям *WoS* и/или *Scopus*, *особенно нелепые в период СВО, спускались приказами по так называемым институтам РАН*⁵⁸,

⁵⁸ Формально бывшие научно-исследовательские институты системы РАН после реформы последней в 2014–2018 годах (см. выше) были переданы в подчинение Минобрнауки РФ. Таким образом, добавле-

по крайней мере, биологического и геологического профиля, в самых разных городах России от Санкт-Петербурга и Москвы до Поволжья, Урала и Сибири⁵⁹. Возникает вопрос, неужели руководство учреждениями и Минобрнауки РФ не осознает, что такая административная настойчивость, достойная лучшего применения, в условиях проведения СВО и оголтелой западной русофобии отдаст антироссийским душком, за который рано или поздно придется нести ответственность?

20 апреля 2024 года на 33-й годичной конференции Санкт-Петербургского союза ученых была единогласно принята резолюция о недопустимости оценки научных достижений исследователей на основе формальных библиометрических показателей. В ней также отмечено, что, несмотря на введенный Правительством РФ мораторий на использование показателей *WoS* и *Scopus*, последние продолжают широко применяться.

Заключение

В истории науки известно множество примеров, показывающих, что открытия в науке большей частью непредсказуемы. Нельзя творческую деятельность оценивать методом простых индексов. Количественные наукометрические показатели вполне применимы для анализа тенденций развития науки, но не для оценки «качества» научных сотрудников. Необходимо также помнить, что деятельность ученого многогранна и не исчерпывается только публикациями, несмотря на всю исключительную важность последних.

Сами научные труды, включая квалификационные работы молодых исследователей, рефераты, диссертации, монографии, исследовательские статьи в журналах и сборниках, а также тезисы докладов, обзоры и научно-популярные публикации, – это всего лишь часть научной активности (жизни) ученого. По ним можно судить о направлении развития науки и их обязательно нужно реферировать самыми современными методами для повышения эффективности развития научной мысли, но недопустимо использовать формальные количественные показатели для оценки эффективности труда ученого в целом.

Реальный вклад исследователя (его «качество») можно оценить лишь на основе тщательного анализа (серьезного рецензирования и ответственной экс-

ние аббревиатуры РАН к названиям этих институтов по сути является *фикцией*, поскольку они никакого отношения к РАН с тех пор не имеют. Исключение составляют только организации, непосредственно юридически входящие в структуру РАН (ее региональных научных центров).

⁵⁹ Судя по выложенным на сайте документам (Приложения 1 и 2 к Приказу № 1252-59 от 12.03.2024), такие же библиометрические требования к оценке деятельности научных сотрудников практиковались и в учреждениях Южного научного центра РАН (см. https://www.ssc-ras.ru/documents/dokumenty_po_pmd).

пертизы) всех аспектов его деятельности, которая в первую очередь предполагает понимание *содержания* его публикаций, а не того, где они изданы.

Мы прекрасно понимаем большую важность библиометрических баз данных и поисковых систем для работы современного ученого, которые сильно облегчают поиск необходимой информации, помогают находить необходимые публикации (журналы, в меньшей степени книги). Собственно говоря, с этим никто и не спорит. Опасность представляет использование этих количественных показателей в административных целях для оценки деятельности научных сотрудников, определения их заработных плат (стимулирующих надбавок), должностного положения и т. д., что в течение последнего десятилетия в приказном порядке активно проталкивает Минобрнауки России, откровенно пренебрегая мнением научного сообщества и нанося ущерб отечественной науке.

Открытая наука предполагает широкий доступ исследователей к инструментам публичной огласки своих результатов с возможностью фиксации своего авторства и предоставления возможности для дальнейшего развития научной мысли. Для предотвращения использования этих инструментов для публикации лженаучных идей, а также откровенного плагиата все работы подвергаются независимому рецензированию. Сегодня существуют различные варианты рецензирования научных статей. Они имеют свои плюсы и минусы и наиболее эффективно выполняют свои задачи в тех областях, где работает достаточно большое число независимых исследователей и специализируется достаточно много отдельных научных журналов, принадлежащих разным издательствам.

В новых развивающихся областях, а также на стыке наук, к сожалению, система такой экспертизы иногда дает сбои. В узких научных сообществах «неограниченные права на истину в последней инстанции» способствуют возникновению своего рода закрытых «элитарных научных клубов». История науки уже доказала, что такой путь рано или поздно приводит к стагнации.

Поэтому важно расширять круг издательств и поддерживать доступ авторов к публикации своих трудов, как в отечественных, так и в иностранных изданиях, обеспечивая свободную конкуренцию редакций и издательств. В издательском деле не должно быть монополии! Нужно поощрять появление отечественных изданий с разной формой собственности, обеспечивать им поддержку; сделать это элементом престижа. Наряду с журналами, имеющими государственную поддержку, по крайней мере, моральное содействие, а еще лучше, соответствующие финансовые (налоговые) льготы должны получить и частные научные издательства, выпускающие рецензируемые журналы и книги добротного научного качества. Таких журналов в России уже немало, в частности в об-

ласти биологии. Финансовая поддержка нужна также журналам, издающимся научными обществами, которые сами по себе находятся в бедственном состоянии. Полезно напомнить, что в Российской империи и в Советском Союзе изданиям обществ выделялись необходимые средства.

«В реальной жизни мы видим, что несмотря на международный характер науки общение ученых в наших лабораториях идет на русском языке, обучение студентов, будущих ученых и инженеров – тоже на русском языке. В каждом научном направлении есть своя русскоязычная терминология, отличающаяся от международной. Поэтому принижать роль отечественных журналов, а тем более отказываться от них, было бы неправильно. На наш взгляд, правильная политика должна заключаться в создании условий для качественного развития российских научных журналов и их активного продвижения на международный уровень» [10: 148].

Таким образом, оценка научной деятельности ученого не может строиться на основе формальных библиометрических индексов, вне зависимости от того, разработаны ли те за рубежом или имеют доморощенный характер (индекс цитирования, импакт-фактор, индекс Хирша и другие). Ни один из них не дает объективной оценки труда научных сотрудников. Непригодность показателей доказана многочисленными аналитическими публикациями и не принимается большей частью научного сообщества в России и за рубежом. Бюрократическое злоупотребление индексами отвергается различными научными обществами, организациями, национальными и международными советами, фондами, университетами, ведущими научными журналами и т. д. в мире.

К сожалению, несмотря на это, федеральные российские власти в области науки продолжают упорствовать и планируют и дальше использовать библиометрию. Это было прямо указано в уже упоминавшемся нами официальном ответе Минобрнауки России депутату А.В. Шишлову от 11 апреля 2024 года № МН-13/698:

«В настоящее время на основании поручения Правительства Российской Федерации разрабатывается отечественная система оценки результативности научных организаций, составной частью которой станет система расчета наукометрических показателей. В рамках разработки уже созданы Национальная платформа периодических научных изданий и Национальный список научных журналов (далее – ‘Белый список’).»

Однако для понимания *реального* вклада исследователя и для *реальной* оценки его научной деятельности необходимо читать (вникать в) его работы, то есть проводить экспертный анализ силами специалистов, а не манипулировать сомнительными цифрами. Содержание статей не может быть заменено их индексацией. Поэтому необходимо вернуться к традиционной

экспертизе, основанной на анализе качества (содержания) научных работ (статей и книг). В этом отношении интересен большой инициативный проект по созданию «Корпуса экспертов», разрабатывавшийся группой энтузиастов [32].

Упорное многолетнее нежелание российских управленцев, проникших в науку на разных уровнях, и некоторой части ученых отказаться от культа библиометрии, уже нанесшей большой вред отечественной науке, трудно объяснить. Наукометрический Франкенштейн хорошо прижился в коридорах отечественной бюрократии.

К сожалению, искаженный подход к оценке деятельности ученых и их коллективов вполне вписывается в общую довольно печальную картину федеральной политики в области науки, которая пребывает в кризисном состоянии уже более 30 лет. Как выразился вице-президент РАН А.Р. Хохлов (2020),

«<...> мы находимся в странной ситуации: различные решения об организации этой сферы принимаются людьми, которые никогда не занимались собственно научными исследованиями.»

К этому можно добавить, что к этим людям приывают и те, кто презирает российскую науку и ее работников, полагая, что все хорошие ученые давно уехали из страны, и те, кто занимает компрадорскую позицию, и те, кто, к сожалению, ориентируясь лишь на личный опыт в своей научной дисциплине, не осознает сложного устройства науки как социокогнитивной системы во всем ее разнообразии и, увы, не понимает специфики разных областей науки.

Рекомендации

1. Необходимо исключить использование библиометрических показателей (индекс цитирования, импакт-фактор журнала, индекс Хирша и другие) для оценки научной деятельности ученых и научных организаций, в вопросах финансирования (выделения грантов и пр.), кадровых назначений и продвижения по службе. Эти показатели должны быть изъяты из квалификационных требований к должностям научных работников.

2. В приоритетном порядке необходимо оценивать содержание статей (качество исследования), а не «играть» формальными показателями.

3. Следует развивать библиометрические базы данных как полезные поисковые системы для улучшения коммуникаций в научном сообществе на национальном и международном уровнях, а также для общества в целом. Такие системы могут быть полезны для исследований в области науковедения (социологии и истории науки и технологий), библиотечного дела и т. д. (но см. пункт 1).

4. При оценке деятельности научного работника необходимо учитывать все его публикации, независимо

от того, включены ли они в тот или иной бюрократический список, национальный или международный. Исключение публикаций из годовых и прочих отчетов научных сотрудников из-за отсутствия их в формальных списках абсурдно и может приводить к искажению (недооценке) публикационной активности ученого.

4. Научная деятельность ученых имеет многогранный характер и включает не только публикацию научных статей, но и рецензирование, редактирование, организацию и доклады на научных семинарах и конференциях, экспертную работу и консультирование, участие в советах и комиссиях разного уровня, в работе научных обществ, организацию и проведение экспедиций, чтение лекций, руководство студентами и аспирантами, участие в популяризации науки и в просвещении и многое другое, требующее затрат личного времени и усилий. Поэтому оценка результативности (эффективности) научной работы ученого должна строиться не по одному или двум отдельным произвольно выбранным параметрам, а с учетом всех аспектов деятельности ученого.

5. Необходимо отменить показатель результативности научной деятельности (ПРНД), который строится преимущественно на библиометрических показателях (см. пункт 1) и от которого зависит так называемая стимулирующая надбавка в зарплате. ПРНД не дает адекватной (объективной) картины работы научного сотрудника, искажает публикационную деятельность и приводит лишь к ухудшению психологического климата в научном коллективе.

6. Необходимо повысить оклады научных сотрудников (и базовое финансирование научных организаций), что будет способствовать стабильности положения ученого и содействовать его научным исследованиям.

7. Необходимо разработать меры поддержки российских рецензируемых журналов (на русском или на английском, или на обоих языках). Увеличение их числа, а также количества томов и выпусков в году позволит сократить срок между подачей рукописи и ее опубликованием. Это будет содействовать увеличению числа публикаций и приоритету российских ученых.

8. Необходимо содействовать публикации монографий, руководств, сборников научных работ и материалов научных конференций, особенно на русском языке, которые дискриминировались в последние десятилетия в угоду зарубежным журналам. **Наука является частью национальной культуры.** Поэтому следует поддерживать издания на русском языке, имеющие национальную ориента-

цию (отечественная природа, социальные и гуманитарные науки). Публикации обобщающего характера (монографии, руководства) также обязательно следует издавать на русском языке, чтобы они были доступны всем интересующимся, особенно молодежи (студенты, аспиранты, молодые ученые); это не мешает их изданию при желании и на других языках (английском и пр.).

9. Следует прекратить дискриминацию публикаций российских ученых (и журналов) на русском языке, которая широко практиковалась в институтах, университетах и Российском научном фонде на основе предпочтения зарубежных журналов из списков *WoS* и *Scopus*. Надо оценивать, что, а не где, опубликовано.

10. Публикации российских исследователей в зарубежных журналах желательны, в том числе в соавторстве с коллегами из других стран. Однако они не должны осуществляться за счет унижения российских ученых в различной форме (лишение указания на аффилиацию, согласие на антироссийские заявления и пр.).

11. Административное принуждение (прямое или косвенное) публиковаться в журналах *Scopus* и *WoS* недружественных стран и пренебрежение российскими журналами недопустимо, особенно в условиях проведения специальной военной операции, и должно пресекаться.

12. Решения в области науки на федеральном и региональном уровнях должны учитывать мнение научного сообщества, а процесс их обсуждения должен проходить при участии научных обществ и организаций (научно-исследовательских институтов и т. д.).

13. Чиновники любого ранга должны нести персональную ответственность за тот вред (ущерб), который они наносят российской науке своими неразумными решениями и приказами.

***Благодарности.** Мы благодарны нашим коллегам по Санкт-Петербургскому союзу ученых (СПбСУ) за полезные обсуждения данной статьи, особенно физику С.В. Козыреву, ознакомившемуся с полным текстом. Большую помощь в вычитке верстки оказали А.Ф. Науменко и А.О. Доморацкий. Мы признательны редколлегии журнала «Биосфера» за возможность опубликовать статью. Ее основные положения были изложены в двух докладах авторов, представленных на заседании семинара СПбСУ по молекулярной и эволюционной биологии 4 марта 2024 года на тему «Наукометрия и суверенитет российской науки» (руководитель семинара проф. А.П. Козлов), а также на 33-й годичной конференции СПбСУ, состоявшейся 20 апреля 2024 года.*

Дополнение к верстке

Когда данный номер «Биосферы» уже верстался, авторы этой статьи получили только что опубликованный доклад: Гусев А.Б., Юревич М.А. Научная политика России – 2023: преодолевая кризис идентичности (по результатам социологического исследования, май–июнь 2023 г.); М.: Перо; 2024, 36 с. (pdf доступен по ссылке <https://disk.yandex.ru/i/DJ7dTomXQaWiHg>). Авторы доклада исследовали влияние антироссийских санкций и специальной военной операции (СВО) на российское научное сообщество. Онлайн-опрос был проведен в конце мая – начале июня 2023 года. В нем приняли участие 3719 исследователей из 79 субъектов Российской Федерации, публиковавших в 2016–2021 годах свои статьи в научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science Core Collection и Russian Science Citation Index. Половина респондентов, включая одного из авторов данной статьи (ЛБ), представляла естественные науки.

Предлагая респондентам для самоопределения формулировки «Я – часть России», «Я – гражданин Мира», «Я – часть Европы», «Я – часть Азии», «Иное», «Затрудняюсь ответить», авторы опросника выяснили, что с Россией связывают себя лишь 58% респондентов. С возрастом доля национально ориентированных исследователей увеличивается от 45,5% (30–39 лет) до 71% и выше у тех (70 лет и старше), кто воспитывался ещё в Советском Союзе.

Что особенно печально, в возрасте до 29 лет доля тех, кто *считает* себя частью России, составляет всего 32,5%, а среди аспирантов – 31% от числа ответивших. Таким образом, уровень космополитизма (термин авторов опроса) максимален среди тех, кто родился после развала СССР в «свободной» и «независимой» (от чего?) России. На наш взгляд, такая политически деформированная позиция у молодёжи – прямое следствие пагубной компрадорской политики, проводимой руководством наукой в нашей стране в последние десятилетия.

Отмечается усиление миграционных настроений во всех группах. Наиболее сильно оно выражено у космополитически настроенных респондентов.

Авторы опроса справедливо отмечают, что в лице своего кадрового состава наука в России переживает *кризис идентичности*. Национально ориентированная часть российского научного сообщества в силу возрастной динамики близка к потере своего небольшого численного преобладания, а в молодежном сегменте пророссийски мыслящие уже находятся в меньшинстве. Между тем, *«сегодняшние аспиранты, сменив в ближайшем будущем нынешних кандидатов и докторов наук, кратню усилят космополитичность научной сферы, если, конечно, с возрастом эти люди не пересмотрят свои взгляды. Такая ситуация стала следствием многолетней политики по встраиванию российской науки в международную»* (Гусев, Юревич, 2024: 10; курсив наш – Л.Б., А.С.).

Однако, на наш взгляд, беда не в интеграции отечественной науки в мировую, что само по себе полезно и следует лишь приветствовать, а в той политике *пренебрежения* к российским учёным и в тех мерах их бюрократического принуждения, которые проводило (и, увы, проводит) руководство

наукой, полагая, что «все хорошие учёные давно уехали». Примечательно, что такие взгляды высших бюрократов, которые, казалось бы, должны печься о благополучии отечественной науки, совпадают с нарциссическим самолюбованием космополитически настроенных респондентов, которые именно себя позиционируют в качестве российской научной элиты.

Многолетнее пренебрежительное отношение к отечественной науке проявляется также и в том, что исследования, особенно фундаментальные и поисковые, не являются приоритетом в понимании властей, особенно высших чиновников финансово-экономического сектора. Это доказывается явно недостаточным финансированием науки, характерным для постсоветской России, где (расходы госбюджета на науку резко упали в сравнении с расходами в СССР).

Авторы социологического опроса, обращая внимание на опасную деформацию личностно-профессиональных установок научной молодежи как наиболее уязвимой части российского научного общества и на негативное влияние «внешней среды», утверждают, что гражданская наука в России близка к точке *невозврата*. Необходимо принимать срочные меры по улучшению ситуации, особенно в отношении начинающих исследователей.

А.Б. Гусев и М.А. Юревич также полагают, что продолжающиеся внешние санкции показали *ошибочность* в долгосрочной перспективе проводимого ранее курса государственной научно-технической политики по встраиванию гражданской науки России в мировую. Новая парадигма ее развития на основе национальных интересов формируется и в системе управления, и у самих ученых. Однако ментальный разворот на 180 градусов происходит с большой инерцией. Ее преодоление становится ключевой тактической задачей.

По мнению авторов опроса, его результаты, как и многие другие исследования государственной научно-технической политики, говорят о необходимости срочного принятия комплекса мер по восстановлению *суверенности* российской науки, которое может быть достигнута только при ее полной погруженности в решение конкретных целей и задач, отвечающих государственным интересам и отраслям национальной экономики, включая высокотехнологичные.

Предлагаются следующие принципы трансформации гражданской науки:

— «отечественная государственная наука [?!] служит интересам российского государства, а не является подчиненной частью науки в ее космополитической интерпретации (мировой, европейской и др.), не является приложением частного бизнеса или исключительно сферой самоуправления для научного сообщества»;

— «эффективность российской государственной науки выражается в решенных задачах и проблемах, актуальных для государства»;

— «российская государственная наука возвращает себе элитарность, которая сопряжена с мобилизационной нагрузкой и ответственностью».

Эффективность должна оцениваться по степени решения задачи или проблемы, актуальной для государства, что требует получение ряда продуктов, зависящих от научных результа-

тов. «В этой парадигме распространенные в настоящее время критерии оценки публикационной или патентной активности остаются лишь *вспомогательными* формами закрепления новых знаний» (Гусев, Юревич, 2024: 32; курсив наш. – Л.Б., А.С.).

Однако, на наш взгляд, реализация изложенных принципов, отражающих интересы в первую очередь управленцев, а не исследователей, приведет к еще большему подчинению научного сообщества бюрократическому (государственному) аппарату, и так грубо попирающему интересы учёных, и нанесет непоправимый вред развитию фундаментальных и поисковых

исследований. Такие исследования, как известно, в отличие от прикладной (заказной) науки, могут успешно развиваться лишь в условиях свободы, определенной независимости, творческой инициативности, как на личностном уровне, так и на уровне научного сообщества. Подчинение административному диктату вместо саморегуляции в рамках научного самоуправления для них губительно. Фундаментальные исследования служат не государству, т.е. совокупному аппарату чиновников, а расширению знаний человечества и тем самым не имеют политических границ.

Литература

1. Акоев МА, Маркусова ВА, Москалева ОВ, Писляков ВВ. Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии. Екатеринбург: Издательство Уральского университета; 2014. 249 с. doi: 10.15826/B978-5-7996-1352-5.0000.
2. Боброва НА. Зачем мы кормим чужую науку в условиях санкций и кто нас заставляет делать это? 2018. <https://www.rospisatel.ru/bobrova-nauka.html>.
3. Боброва НА. О вредности современных критериев оценки научных достижений. Мир политики и социологии. 2018;(3-4):89-93.
4. Боркин Л. День науки и обман «по вертикали власти». Троицкий вариант-Наука. 2021;4(323):14-5. <https://www.trv-science.ru/tag/323/>.
5. Боркин Л, Козырев С, Мелконян М. Актуальные проблемы федеральной и региональной научной политики (взгляд Санкт-Петербургского союза ученых). Экономист. 2021;(11):17-31.
6. Боркин ЛЯ, Литвинчук СН, Мазепа ГА, Пасынкова РА, Розанов ЮМ, Скоринов ДВ. Западные Гималаи как арена необычного триплоидного видообразования у зеленых жаб группы *Bufo viridis*. Отчетная научная сессия по итогам работ 2011 г. Тезисы докладов. 3–5 апреля 2012 г. СПб.: Зоологический институт РАН; 2012. С. 10-12.
7. Власова ВВ, Гохберг ЛМ, Дитковский КА, Коцемир МН, Кузнецова ИА, Мартынова СВ, Нестеренко АВ, Ратай ТВ, Репина АА, Росовецкая ЛА, Сагиева ГС, Стрельцова ЕА, Тарасенко ИИ, Фридлянова СЮ, Юдин ИБ. Наука. Технологии. Инновации. 2024. Краткий статистический сборник. Москва: ИСИЭЗ ВШЭ, 2024.
8. Голубев АГ, Большаков ВН, Боркин ЛЯ, Драгавцев ВА, Исаченко ГА, Новиков АИ, Фрисман ЕЯ, Чурилов ЛП, Розенберг ГС. Уроки прошлого для научных журналов в новой реальности. Биосфера. 2022; 14(1):1-7. doi: 10.24855/biosfera.v14i1.664.
9. Гохберг ЛМ, Дитковский КА, Евневич ЕИ, Коцемир МН, Кузнецова ИА, Мартынова СВ, Нестеренко ИИ, Полякова ВВ, Ратай ТВ, Росовецкая ЛА, Сагиева ГС, Стрельцова ЕА, Суслон АВ, Тарасенко ИИ, Фридлянова СЮ, Фурсов КС. Индикаторы науки 2020. Статистический сборник. Москва: НИУ ВШЭ; 2020.
10. Еременко ГО, Кокарев КП. eLIBRARY.ru и РИНЦ в информационной инфраструктуре российской науки. Беседа с гендиректором НЭБ Геннадием Еременко. Полис. Политические исследования. 2014; (1): 146-54. <https://doi.org/10.17976/jpps/2014.01.10>.
11. Животовский ЛН. Российская наука на краю ямы: куда ее заведут чиновничьи указы. Московский комсомолец. 9 февраля 2018; (27613). <https://www.mk.ru/science/2018/02/09/rossiyskaya-nauka-na-krayu-yamy-kuda-ee-zavedut-chinovniki-ukazy.html>.
12. Захарцев СИ, Сальников ВП. Наукометрия и индексы цитирования: сегодня и завтра. Правовое государство: теория и практика. 2016;4(46):7-13.
13. Кириллова ОВ. Редакционная подготовка научных журналов для включения в зарубежные индексы цитирования. Методические рекомендации. Москва: ВИНТИ РАН; 2012.
14. Кириллова ОВ. Редакционная подготовка научных журналов по международным стандартам. Рекомендации эксперта БД Scopus. Часть 1. Москва; 2013.
15. Кириллова ОВ. Состояние и перспективы представления российских медицинских журналов и публикаций в базе данных Scopus. Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2014;7(1):10-24.

16. Кисляков СВ. О причинах ухода Г. Перельмана из ПОМИ. Троицкий вариант-Наука. 2010;6(50):6. <https://www.trv-science.ru/2010/03/o-prichinax-uxoda-g-perelmana-iz-pomi/>.
17. Локтев АП. Scopus в помощь исследователю и научной организации. Elsevier Research Intelligence; 2017.
18. Лутай АВ, Черченко ОВ, Чернова ИН. Индекс цитирования РЦНИ v.1.0 – анализ данных. Москва: Российский центр научной информации (электронный текст). https://podpiska.rfbr.ru/materials/citation_index_v1/. Дата публикации: 18.04.2023.
19. Максимова НН, Максимов АЛ. Некоторые аспекты применения наукометрических показателей в оценке эффективности научной деятельности. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2009;(5):149-56.
20. Месяц ГА. «Индекс цитирования не всегда объективно отражает заслуги ученого». STRF. Наука и технологии РФ. 15.05.08. http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=347&d_no=14318.
21. Молини А, Боденхаузен Д. Библиометрия как оружие массового цитирования. Вестник РАН. 2017;87(1):70-7.
22. Москалева ОВ. Можно ли оценивать труд ученых по библиометрическим показателям? Управление большими системами. Специальный выпуск 44: «Наукометрия и экспертиза в управлении наукой». Москва: Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова; 2013. С. 308-31.
23. Писляков ВВ. Наукометрические методы и практики, рекомендуемые к применению в работе с Российским индексом научного цитирования. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка системы статистического анализа российской науки на основе данных российского индекса цитирования». Москва: 2005; 24 с. <http://www.elibrary.ru/projects/citation/docs/scientometrics.pdf>
24. Писляков ВВ. Самоцитирование и его влияние на оценку научной деятельности: обзор литературы. Часть I. Научные и технические библиотеки. 2022;(2):49-70. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2022-2-49-70>.
25. Полянин АД, Журов АИ. Электронные публикации и научные ресурсы Интернета. Природа. 2008;(2):5-13.
26. Розенберг ГС. «Хиршивость» науки и период полураспада цитируемости научных идей. Биосфера. 2018;10:52-64. <http://dx.doi.org/10.24855/biosfera.v10i1.425>.
27. Рубинштейн АЯ. Государственный патернализм: наукометрический провал. J Institut Stud. 2021;13(3):20-36. doi: 10.17835/2076-6297.2021.13.3.020-036.
28. Сайфитдинова АФ. Научная публикация: истинное назначение и навязанные роли. Личность и культура. 2023;(6):32-9.
29. Свердлов ЕД. Инкрементная наука: статьи и гранты – да, открытия – нет. Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. 2018;36(4):168-76. doi: 10.17116/molgen201836041168.
30. Сказ РА. Над учеными экспериментируют. ЭКО.2008;(1):64-75.
31. Стерлигов ИА. Рейтинги в науке: кто-то виноват? Социодиггер. 2021;2(7):55-61.
32. Фейгельман МВ, Цирлина ГА. Библиометрический азарт как следствие отсутствия научной экспертизы. Управление большими системами. Специальный выпуск 44: «Наукометрия и экспертиза в управлении наукой». Москва: Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова; 2013. С. 332-45.
33. Хохлов А. «Чтобы управлять наукой, надо понимать, как она устроена». Троицкий вариант-Наука. 2020;(318):3.
34. Чурилов ЛП, Бубнова НА, Варзин СА, Матвеев ВВ, Пискун ОЕ, Шишкин АН, Эрман МВ, Голубев АГ. Ученые и наукометрия: в поисках оптимума для России. Биосфера. 2017;9:1-12. doi: 10.24855/biosfera.v9i1.327/www.21bs.ru.
35. Эксперты обсудили создание Национальной системы оценки результативности научных исследований и разработок 11.03.2022 <https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/48219/> (последняя дата обращения: 30.03.2024).
36. Эксперты оценили качество российских научных журналов. Новости науки в НИУ ВШЭ. 8 апреля 2024 года. <https://www.hse.ru/news/science/147954841.html>.
37. Abbasi K. Russia's war: Why the BMJ opposes an academic boycott. Brit Med J (BMJ). 2022;376(8329):o613, doi: 10.1136/bmj.o613.
38. Abramo G, D'Angelo CA, Di Costa F. Correlating article citedness and journal impact: an empirical investigation by field on a large-scale dataset. Scientometrics. 2023. doi: 10.1007/s11192-022-04622-0.
39. Aksnes DW. A macro study of self-citation. Scientometrics. 2003;56(2):235-46. doi: 10.1023/A:1021919228368.
40. Aksnes DW. Citation rates and perceptions of scientific contribution. J Am Soc Informat Sci Technol (JASIST). 2007; 57(2):169-85. doi: 10.1002/asi.20262.
41. Alberts B. Impact factor distortions. Science. 2013;340:787. doi: 10.1126/science.1240319.

42. Amin M, Mabe MA. Impact factors: use and abuse. *Medicina (Buenos Aires)*. 2003;63:347-54.
43. Anseel F, Wouter Duyck W, De Baene W, Brysbaert M. Journal impact factors and self-citations: implications for psychology journals. *Am Psychologist*. 2004;59(1):49-51. doi: 10.1037/0003.066X.59.1.49.
44. Archambault É, Larivière V. History of the journal impact factor: contingencies and consequences. *Scientometrics*. 2009;79:635-49. doi: 10.1007/s11192-007-2036-x.
45. Ball P. Achievement index climbs the ranks. *Nature*. 2007;448:737.
46. Beel J, Gipp B. Academic search engine spam and Google Scholar's resilience against it. *J Electron Publ*. 2010;13(3):1-24. doi:10.3998/3336451.0013.305.
47. Bergstrom TC, Courant PN, McAfee RP, Williams MA. Evaluating big deal journal bundles. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2014;111:9425-30. doi:10.1073/pnas.1403006111.
48. Bornmann L, Daniel H-D. The state of h index research. Is the h index the ideal way to measure research performance? *EMBO Rep*. 2009;10(3):2-6. doi:10.1038/embor.2008.233.
49. Bornmann L, Mutz R, Daniel H-D. Are there better indices for evaluation purposes than the h index? A comparison of nine different variants of the h index using data from biomedicine. *J Am Soc Informat Sci Technol*. 2008;9:830-7. doi: 10.1002/asi.
50. Borrego Á, Anglada L, Abadal E. Transformative agreements: do they pave the way to open access? *Learned Publishing*. 2020;1-17. doi: 10.1002/leap.1347.
51. Brembs B. Prestigious science journals struggle to reach even average reliability. *Front Hum Neurosci*. 2018;12(37):1-7. doi: 10.3389/fnhum.2018.00037.
52. Browman HI, Stergiou KI. Factors and indices are one thing, deciding who is scholarly, why they are scholarly, and the relative value of their scholarship is something else entirely. *Ethics Sci Environ Polit*. 2008;8:1-3. doi: 10.3354/esepp00089.
53. Chou P-N. A comparison study of impact factor in WoS and Scopus databases for engineering education and educational technology journals. *Iss Inform Sci Informat Technol*. 2012;9:187-94. doi: 10.28945/1615.
54. Coleman R. Impact factors: use and abuse in biomedical research. *Anatom Rec*. 1999;257(2):54-7.
55. Dewatripont M, Ginsburgh V, Legros P, Walckiers A. Pricing of scientific journals and market power. *J Eur Econ Assoc*. 2007;5(2/3):400-10.
56. Editorial. The impact factor game. It is time to find a better way to assess the scientific literature. *PLoS Med*. 2006;3(6):e291:0707-0708. doi: 10.1371/journal.pmed.0030291.
57. Editorial. Beware the impact factor. *Nat Materials*. 2013;2:89.
58. Editorial. Russia's brutal attack on Ukraine is wrong and must stop. *Nature*;2022;603:201. doi: 10.1038/d41586-022-00647-w.
59. Else H. Thousands of scientists run up against Elsevier's paywall. *Nature*; 2019. doi: 10.1038/d41586-019-00492-4.
60. Fagan JC. An evidence-based review of academic web search engines, 2014–2016: implications for librarians' practice and research agenda. *Informat Technol Librar*. 2017;6(2):7-47. doi: 10.6017/ital.v36i2.9718.
61. Falagas ME, Pitsouni EI, Malietzis GA, Pappas G. Comparison of PubMed, Scopus, WoS, and Google Scholar: strengths and weaknesses. *FASEB J*. 2008;22:338-42. doi: 10.1096/fj.07-9492LSF.
62. Flatt JW, Blasimme A, Vayena E. Improving the measurement of scientific success by reporting a self-citation index. *Publications*. 2017;5(3):1-6. doi: 10.3390/publications5030020.
63. Flemming BW. Impact Factors: the grand delusion. *Geo-Marine Lett*. 2012;32(1):1-3. doi: 10.1007/s00367-011-0272-9.
64. Fricke S. Semantic Scholar. *J Med Library Assoc*. 2018;106(1):145-7. doi: dx.doi.org/10.5195/jmla.2018.280.
65. Garfield E. Citation indexes for science: a new dimension in documentation through association of ideas. *Science*. 1955;122:108-11. doi: 10.1126/science.122.3159.108.
66. Garfield E. "Science Citation Index" – a new dimension in indexing: This unique approach underlies versatile bibliographic systems for communicating and evaluating information. *Science*. 1964;144:649-54. doi: 10.1126/science.144.3619.649.
67. Garfield E. Citation analysis as a tool in journal evaluation: journals can be ranked by frequency and impact of citations for science policy studies. *Science*. 1972;178:4719.
68. Garfield E. Impact factors, and why they won't go away. *Nature*. 2001;411:522. doi: 10.1038/35079156.
69. Garfield E. The history and meaning of the journal impact factor. *JAMA*. 2006;295(1):90-3.
70. Garfield E, Pudovkin AI. Journal Impact Factor strongly correlates with the citedness of the median journal paper. *Collnet J Scientometrics Informat Manag*. 2015;9(1):5-14. doi: 10.1080/09737766.2015.1027099.
71. Garfield E, Sher IH. New factors in the evaluation of scientific literature through citation indexing. *J Assoc Informat Sci Technol*

- (JASIST). 1963;14(3):195-201. doi: 10.1002/asi.5090140304.
72. Guerrero-Bote VP, Moya-Anegón F. A further step forward in measuring journals' scientific prestige: the SJR2 indicator. *J Informetrics*. 2012;6:674-88. doi: 10.1016/j.joi.2012.07.001.
 73. Glänzel W, Debackere K, Thijs B, Schubert A. A concise review on the role of author self-citations in information science, bibliometrics and science policy. *Scientometrics*. 2006;67(2):263-77. doi: 10.1007/s11192-006-0098-9.
 74. Grant B. WoS sold for more than \$3 billion. *The Scientist*. 2016. <https://www.the-scientist.com/web-of-science-sold-for-more-than-3-billion-33184> (accessed 11.03.2024).
 75. Gray E, Hodgkinson SZ. Comparison of Journal Citation Reports and Scopus Impact Factors for ecology and environmental sciences journals. *Iss Sci Technol Librarianship*. 2008;(54):1-9. doi: 10.29173/istl2451.
 76. Gusenbauer M. Google Scholar to overshadow them all? Comparing the sizes of 12 academic search engines and bibliographic databases. *Scientometrics*. 2019;118(1):177-214. doi: 10.1007/s11192-018-2958-5.
 77. Harzing A-W. Two new kids on the block: how do Crossref and Dimensions compare with Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus and the WoS? *Scientometrics*. 2019;120(1):341-9. doi: 10.1007/s11192-019-03114-y.
 78. Heibi I, Peroni S, Shotton D. Software review: COCI, the OpenCitations Index of Crossref open DOI-to-DOI citations. *Scientometrics*. 2019;121(2):1213-28. doi: 10.1007/s11192-019-03217-6.
 79. Herzog C, Hook D, Konkiel S. Dimensions: bringing down barriers between scientometricians and data. *Quantit Sci Stud*. 2020;1(1):387-95. doi: 10.1162/qss_a_00020.
 80. Hicks D, Wouters P, Waltman L, de Rijcke S, Rafols I. Bibliometrics: the Leiden Manifesto for research metrics. *Nature*. 2015;520:429-31.
 81. Hirsch JE. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2005;102:16569-72. doi: 10.1073/pnas.0507655102.
 82. Hirsch JE. Does the h index have predictive power? *Proc Natl Acad Sci USA*. 2007;104:19193-8.
 83. Ioannidis JPA, Boyack K, Wouters PF. Citation metrics: a primer on how (not) to normalize. *PLoS Biol*. 2016; 14(9):e1002542:1-7. doi: 10.1371/journal.pbio.1002542.
 84. Jacsó P. Google Scholar revisited. *Online Informat Rev*. 2008;32(1):102-14. doi: 10.1108/14684520810866010.
 85. Jacsó P. The plausibility of computing the h-index of scholarly productivity and impact using reference-enhanced databases. *Online Informat Rev*. 2008;32(2):266-83.
 86. Jacsó P. Metadata mega mess in Google Scholar. *Online Informat Rev*. 2010;34(1):175-91. doi: 10.1108/14684521011024191.
 87. Kangas A, Mäkinen S, Dubrovskiy D, Pallo J, Shenderova S, Yarovoy G, Zabolotna O. Debating academic boycotts and cooperation in the context of Russia's war against Ukraine. *New Perspect*. 2023;31(3):250-64. doi: 10.1177/2336825X231187331.
 88. Koul M, Majumder P, Laskar S. Salami publication: an outlook from the lens of ethical perspective. *J Oral Health Commun Dentistry*. 2021;15(2):84-6. doi: 10.5005/jp-journals-10062-0099.
 89. Kousha K, Thelwall M. Google Scholar citations and Google Web/URL citations: a multi-discipline exploratory analysis. *J Am Soc Informat Sci Technol*. 2007;57(6):1055-65. doi:10.1002/asi.20584.
 90. Larivière V, Haustein S, Mongeon P. The oligopoly of academic publishers in the digital era. *PLoS ONE*. 2015; 10(6):e0127502:1-15. doi: 10.1371/journal.pone.0127502.
 91. Larivière V, Kiermer V, MacCallum CJ, McNutt M, Patterson M, Pulverer B, Swaminathan S, Taylor S, Curry S. A simple proposal for the publication of journal citation distributions. *BioRxiv*. 2016. doi: 10.1101/062109.
 92. Larivière V, Sugimoto CR. The Journal Impact Factor: a brief history, critique, and discussion of adverse effects. In: Glänzel W, Moed HF, Schmoch U, Thelwall M. (eds.). *Springer Handbook of Science and Technology Indicators*. Cham (Switzerland): Springer International Publishing; 2018. P. 3-24.
 93. Lawani SM. On the heterogeneity and classification of author self-citations. *J Am Soc Informat Sci*. 1982;33(5):281-4.
 94. Litvinchuk SN, Mazepa GO, Pasynkova RA, Saidov A, Satorov T, Chikin YuA, Shabanov DA, Crottini A, Borkin LJ, Rosanov JM, Stöck M. Influence of environmental conditions on the distribution of Central Asian green toads with three ploidy levels. *J Zool Systemat Evolut Res*. 2011;49:233-9. doi: 10.1111/j.1439-0469.2010.00612.x.
 95. López-Illescas C, de Moya Anegón F, Moed HF. Comparing bibliometric country-by-country rankings derived from the WoS and Scopus: the effect of poorly cited journals in oncology. *J Informat Sci*. 2009;35(2):244-56. doi: 10.1177/0165551508098603.
 96. López-Cózar E, Robinson-García N, Torres-Salinas D. The Google Scholar experiment: how

- to index false papers and manipulate bibliometric indicators. *J Assoc Informat Sci Technol*. 2014;65:446-54. doi: 10.1002/asi.23056.
97. Martin BR. Editors' JIF-boosting stratagems – which are appropriate and which not? *Res Policy*. 2016;45:1-7. doi: 10.1016/j.respol.2015.09.001.
 98. Martín-Martín A, Thelwall M, Orduna-Malea E, Lypez-Cyzar ED. Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, WoS, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations. *Scientometrics*. 2021;126:871-906. doi: 10.1007/s11192-020-03690-4.
 99. Meho LI, Yang K. Impact of data sources on citation counts and rankings of LIS faculty: WoS versus Scopus and Google Scholar. *J Am Soc Informat Sci Technol*. 2007;58:2105-25. doi: 10.1002/asi.20677.
 100. Mendes-Da-Silva W, Leal CC. Salami science in the age of open data: déjà lu and accountability in management and business research. *J Contemp Administr Brasil*. 2021;25(1):1-11. doi: 10.1590/1982-7849rac2021200194.
 101. Menon V, Muraleedharan A. Salami slicing of data sets: what the young researcher needs to know. *Ind J Psychol Med*. 2016;38:577-8. doi: 10.4103/0253-7176.194906.
 102. Metzke K. Bureaucrats, researchers, editors, and the impact factor – a vicious circle that is detrimental to science. *Clinics*. 2010;65(10):937-40.
 103. Monastersky R. The number that's devouring science: the impact factor, once a simple way to rank scientific journals, has become an unyielding yardstick for hiring, tenure, and grants. *Chronicle Higher Educ*. 2005;52(8), 1-17.
 104. Moskaleva O, Akoev M. Non-English language publications in Citation Indexes – quantity and quality. In: G. Catalano G. et al., eds. *Proc 17th Conf Int Soc Scientometrics Infometrics*. Vol. 1. Roma: Edizioni Efesto; 2019. P. 35-46.
 105. National Science Board, National Science Foundation. *Publications Output: U.S. Trends and International Comparisons*. Alexandria (Virginia, USA): Science and Engineering Indicators 2024. NSB-2023-33. <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb202333/> (accessed 3 April 2024).
 106. Nazarovets M, Teixeira da Silva JA. Scientific publishing sanctions in response to the Russo-Ukrainian war. *Learned Publishing*. 2022;35:658-70.
 107. Neill US. A conversation with Aaron Ciechanover. *J Clin Invest*. 2013;123:4093-4. doi: 10.1172/JCI71859.
 108. Opthof T. Sense and nonsense about the impact factor. *Cardiovascr Res*. 1997;33(1):1-7.
 109. Pisyakov V. Comparing two thermometers: impact factors of 20 leading economic journals according to Journal Citation Reports and Scopus. *Scientometrics*. 2009;79(3):541-50. doi: 10.1007/s11192-007-2016-1.
 110. Pudovkin AI. Comments on the use of the journal impact factor for assessing the research contributions of individual authors. *Front Res Metrics Analytics*. 2018; 3(2):1-4. doi: 10.3389/frma.2018.00002.
 111. Pudovkin AI, Garfield E. Percentile rank and author superiority indexes for evaluating individual journal articles and the author's overall citation performance. *Collnet J Scientometrics Informat Manag*. 2009; 3(2):3-10.
 112. Pulverer B. Dora the brave. *EMBO Journal*. 2015;34(12):1601–2. doi: 10.15252/embj.201570010.
 113. Redner S. Citation statistics from 110 years of *Physical Review*. *Physics Today*. 2005;58(6):49-54. doi: 10.1063/1.1996475.
 114. Reshetnikov AN, Zibrova MG, Ayaz D, Bhattarai S, Borodin OV, Borzée A, Brejcha J, Çiçek K, Dimaki M, Doronin IV, Drobenkov SM, Gichikhanova UA, Gladkova AY, Gordeev DA, Ioannidis Y, Ilyukh MP, Interesova EA, Jadhav TD, Karabanov DP, Khabibullin VF, Khabilov TK, Khan MMH, Kidov AA, Klimov AS, Kochetkov DN, Kolbintsev VG, Kuzmin SL, Lotiev KY, Louppova NE, Lvov VD, Lyapkov SM, Martynenko IM, Maslova IV, Masroor R, Mazanaeva LF, Milko DA, Milto KD, Mozaffari O, Nguyen TQ, Novitsky RV, Petrovskiy AB, Prelovskiy VA, Serbin VV, Shi H-t, Skalon NV, Struijk RPJH, Taniguchi M, Tarkhnishvili D, Tsurkan VF, Tyutenkov OY, Ushakov MV, Vekhov DA, Xiao F, Yakimov AV, Yakovleva TI, Yang P, Zeleev DF, Petrosyan VG. Rarely naturalized, but widespread and even invasive: the paradox of a popular pet terrapin expansion in Eurasia. *NeoBiota*. Sofia. 2023;81:91-127. doi: 10.3897/neobiota.81.90473.
 115. Roberts RJ. An obituary for the impact factor. *Nature*. 2017;546:600. doi: 10.1038/546600e.
 116. Sauer mann H, Haeussler C. Authorship and contribution disclosures. *Sci Adv*. 2017;3:e1700404:1-13. doi:10.1126/sciadv.1700404.
 117. Schiermeier Q, Mega ER. Institutes lose access to Elsevier journals. *Nature*. 2017;541:13. doi: 10.1038/nature.2016.21223.
 118. Schmid SL. Five years post-DORA: promoting best practices for research assessment. *Mol Biol Cell*. 2017;28:2941-4. doi:10.1091/mbc.E17-08-0534.
 119. Schreiber M. Self-citation corrections for the Hirsch index. *Europhys Lett*. 2007;78(3):1-6. doi: 10.1209/0295-5075/78/30002.

120. Seglen PO. Citations and journal impact factors: questionable indicators of research quality. *Allergy*. 1997;52:1050-6.
121. Seglen PO. Why the impact factor of journals should not be used for evaluating research. *Brit Med J*. 1997;314:498-502.
122. Schekman R, Patterson M. Reforming research assessment. *eLife*. 2013;2:e00855:1-2. doi: 10.7554/eLife.00855.
123. Shu F, Mongeon P, Haustein S, Siler K, Alperin JP, Larivière V. Is it such a big deal? On the cost of journal use in the digital era. *College Res Libraries*. 2018;79:785-98. doi: 10.5860/crl.79.6.785.
124. Singh VK, Singh P, Karmakar M, Leta J, Mayr P. The journal coverage of WoS, Scopus and Dimensions: a comparative analysis. *Scientometrics*. 2021;126(6):5113-42. doi: 10.1007/s11192-021-03948-5.
125. Smolčić VŠ. Salami publication: definitions and examples. *Biochem Med*. 2013;23(3):137-41. doi: 10.11613/BM.2013.030.
126. Spires-Jones TL, Belin D. Impact fact(or) fiction? *Brain Comm*. 2022;4(6):1-2. doi: 10.1093/braincomms/fcac261.
127. Spires-Jones TL, Belin D. Put your publication money where your mouth is. *Brain Comm*. 2023;5(5):1-2. doi: 10.1093/braincomms/fcad220.
128. Stahlschmidt S, Stephen D. Comparison of WoS, Scopus and Dimensions Databases. KB Forschungspoolprojekt 2020. Hannover: German Centre for Higher Education Research and Science Studies (DZHW); 2020.
129. Steck N, Stalder L, Egger M. Journal- or article-based citation measure? A study of academic promotion at a Swiss university. *F1000 Res*. 2020;9:1188:1-16. doi: 10.12688/f1000research.26579.1.
130. Stephan P, Veugelers R, Wang J. Blinkered by bibliometrics. *Nature*. 2017;544:411-2.
131. Stöck M, Schmid M, Steinlein C, Grosse W-R. Mosaicism in somatic triploid specimens of the *Bufo viridis* complex in the Karakorum with examination of calls, morphology and taxonomic conclusions. *Ital J Zool*. 1999; 66(3):215-32.
132. Stöck M, Lamatsch DK, Steinlein C, Epplen JT, Grosse W-R, Hock R, Klapperstück T, Lampert KP, Scheer U, Schmid M, Scharl M. A bisexually reproducing all-triploid vertebrate. *Nat Genet*. 2002;30:325-8.
133. Stone R. Western nations cut ties with Russian science, even as some projects try to remain neutral. *Science*. 2022;375:1074-6. doi: 10.1126/science.adb1928.
134. Surridge C. Patterns of co-suppression in plants. *Nature Milestones*. December 2019; S6 (Milestones in antisense RNA research. Milestone 2). <https://www.nature.com/articles/d42859-019-00077-1> (accessed 11.03.2023).
135. Thelwall M. Microsoft Academic: a multidisciplinary comparison of citation counts with Scopus and Mendeley for 29 journals. *J Informetrics*. 2017;11(4):1201-2. doi:10.1016/j.joi.2017.10.006.
136. Thelwall M. Dimensions: a competitor to Scopus and the WoS? *J Informetrics*. 2018;12(2):430-5. doi: 10.1016/j.joi.2018.03.006.
137. Valderrama P, Escabias M, Valderrama MJ, Jiménez-Contreras E, Baca P. Influential variables in the Journal Impact Factor of Dentistry journals. *Heliyon*. 2020;6(3):e03575:1-4. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03575.
138. Van Noorden R. Impact factor gets heavyweight rival. CiteScore uses larger database and gets different results. *Nature*. 2016;540:325-6.
139. Wang K, Shen Z, Huang C, Wu C-H, Dong Y, Kanakia A. Microsoft Academic Graph: when experts are not enough. *Quantitat Sci Stud*. 2020;1(1):396-413. doi: 10.1162/qss_a_00021.
140. Wilhite AW, Fong EA. Coercive citation in academic publishing. *Science*. 2012;335:542-3. doi: 10.1126/science.1212540.
141. Wilsdon J, Allen L, Belfiore E, Campbell P, Curry S, Hill S, Jones R, Kain R, Kerridge S, Thelwell M, Tinkler J, Viney I, Wouters P, Hill J, Johnson B. The Metric Tide. Report of the Independent Review of the role of Metrics in Research Assessment and Management. HEFCE [Higher Education Funding Council for England]; 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.4929.1363.
142. Wood S. Ghost authorship on the wane, but guest authorship still common. *Medscape*. 2009. <https://www.medscape.com/viewarticle/708781?form=fpf>.
143. Zhang L, Rousseau R, Sivertsen G. Science deserves to be judged by its contents, not by its wrapping: revisiting Seglen's work on journal impact and research evaluation. *PLoS ONE*. 2017;12(3):e0174205:1-18. doi: 10.1371/journal.pone.0174205.
144. Zhivotovsky LA, Krutovsky KV. Self-citation can inflate h-index. *Scientometrics*. 2008;77(2):373-5. doi: 10.1007/s11192-006-1716-2.



Подписано в печать **15.05.2024.**

Дата выхода в свет **25.05.2024.**

Отпечатано в ИП Лесник

197110, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., д. 15 Лит 3 пом. 101-103

Тел.: +7 (812) 649-73-14.

Тираж **700 экз.**

Цена свободная

Адрес издателя и редакции:

197110, Санкт-Петербург, Большая Разночинная ул., д. 28; тел./факс: (812) 415-41-61

Учредитель: **Фонд научных исследований "XXI век"**

Главный редактор: **Розенберг Геннадий Самуилович**