

ISSN 0869-6071

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО



ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Том 156, номер 4
октябрь-декабрь
2024



НАУКА
— 1727 —

СОДЕРЖАНИЕ

Том 156, номер 4, 2024

О необходимости создания охранной зоны природного парка “Териберка” (Мурманская область)	
<i>Е. А. Боровичев, М. Н. Кожин, М. В. Шулина, О. А. Белкина, О. В. Петрова</i>	237
Малые реки Чеченской Республики: особенности распределения и проблемы рационального использования	
<i>А. А. Даукаев, Л. С. Гацаева, А. А. Абумуслимов, С. С.-А. Гацаева</i>	256
Экстремальные осадки и наводнения в бассейне реки Абакан	
<i>Ю. Н. Курочкин, К. В. Чистяков, М. В. Сыромятина</i>	268
Гидрогеохимия проявлений углекислых вод в бассейне р. Погромки (Западное Забайкалье)	
<i>Л. В. Замана</i>	282
Современная речная биогенная нагрузка на Онежское озеро	
<i>Н. Е. Галахина, А. В. Сабьлина, М. Б. Зобков</i>	293
Пространственно-временная изменчивость условий термического комфорта на территории Казахстана	
<i>Д. Ю. Гущина, Ж. Т. Мухтарова</i>	311
Новопортовский мерзлотник — уникальный объект историко-культурного наследия Ямала: современное состояние и перспективы функционирования на фоне климатических изменений	
<i>Л. П. Кузякин, С. А. Огородов, А. А. Маслаков, Г. А. Кажукало, Д. М. Богатова</i>	340
Развитие зимнего фитопланктона Онежского озера в зависимости от физико-химических условий среды	
<i>Н. М. Калинкина, В. С. Смирнова, Ю. Л. Сластина, Р. Э. Здореннов, Г. Э. Здореннова, М. Б. Зобков, Е. В. Теканова, Л. Е. Назарова</i>	358
Современная трансформация сельского расселения (на примере Верхнеленя, Иркутская область)	
<i>Н. В. Воробьев, А. Н. Воробьев, Д. В. Маргеева</i>	375
Нативные эталонно значимые черноземы в староосвоенной лесостепи: поиск сохранившихся ареалов и анализ свойств	
<i>Ю. Г. Чендев, М. А. Смирнова, А. Н. Геннадиев, В. Г. Белеванцев</i>	391
Пространственное распределение занятости населения в транспортно- логистическом комплексе московской агломерации	
<i>М. А. Макушин</i>	409
Особенности размещения и морфометрические характеристики бобровых плотин и прудов на малых реках возвышенностей степной зоны Поволжья	
<i>А. Г. Шарифуллин, А. В. Гусаров</i>	423

CONTENT

Volume 156, No. 4, 2024

Justification for the creation of a protected zone of the nature park “Teriberka” (Murmansk region) <i>E. A. Borovichev, M. N. Kozhin, M. V. Shulina, O. A. Belkina, O. V. Petrova</i>	237
Small rivers of the Chechen Republic: features of distribution and problems of rational use <i>A. A. Daukaev, L. S. Gatsaeva, A. A. Abumuslimov, S. S.-A. Gatsaeva</i>	256
Extreme precipitation and floods in the Abakan river basin <i>Yu. N. Kurochkin, K. V. Chistyakov, M. V. Syromyatina</i>	268
Hydrogeochemistry of carbonic acid water manifestations in the Pogromka river basin (Western Transbaikalia) <i>L. V. Zamana</i>	282
Current river nutrient load on Lake Onego <i>N. E. Galakhina, A. V. Sabylina, M. B. Zobkov</i>	293
Spatial and-temporal variability of the thermal comfort conditions in Kazakhstan <i>D. Yu. Gushchina, Z. T. Muhtarova</i>	311
Novoportovskiy ice cellar, the unique object of historical and cultural heritage of Yamal region: the current state and prospects of stability due to climate change <i>L. P. Kuziakin, S. A. Ogorodov, A. A. Maslakov, G. A. Kazhukalo, D. M. Bogatova</i>	340
Development of winter phytoplankton of Lake Onego in connection with physical and chemical conditions of the environment <i>N. M. Kalinkina, V. S. Smirnova, Yu. L. Slastina, R. E. Zdorovenov, G. E. Zdorovenova, M. B. Zobkov, E. V. Tekanova, L. E. Nazarova</i>	338
Modern transformation of rural settlement (by the example of Verhnelelye, Irkutsk region) <i>N. V. Vorobyev, A. N. Vorobyev, D. V. Margeeva</i>	375
Benchmark native chernozems in the old-settled forest-steppe: search for remaining areas and properties analysis <i>Yu. G. Chendev, M. A. Smirnova, A. N. Gennadiev, V. G. Belevantsev</i>	391
Spatial distribution of employment in logistics sector of Moscow agglomeration <i>M. A. Makushin</i>	409
Features of distribution and morphometric characteristics of beaver dams and ponds in small rivers of the uplands of the steppe zone of the Volga region, European Russia <i>A. G. Sharifullin, A. V. Gusarov</i>	423

УДК 502:631.4(98)

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ ОХРАННОЙ ЗОНЫ ПРИРОДНОГО ПАРКА “ТЕРИБЕРКА” (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2024 г. Е. А. Боровичев^{а, b, *}, М. Н. Кожин^{а, b, **},
М. В. Шулина^{b, ***}, О. А. Белкина^{а, ****}, О. В. Петрова^{а, *****}

^а Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина ФИЦ КНЦ РАН,
Апатиты, Россия

^б Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия

E-mail: *borovichyok@mail.ru

E-mail: **mnk_umba@mail.ru

E-mail: ***mshulina@ya.ru

E-mail: ****olgabelk@yahoo.com

E-mail: *****olechka.v.petrova@gmail.com

Поступила в редакцию 15.05.2024 г.

После доработки 03.06.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

В 2021 году в Мурманской области на площади 2418.5 га был создан природный парк “Териберка” для сохранения редких видов растений и животных, природно-территориальных комплексов и содействия развитию цивилизованных форм природно-познавательного (экологического) туризма. Эта территория в последние десятилетия испытывает очень сильное рекреационное воздействие: например, в 2022 году туристический поток в село составил не менее 60 тыс. человек, природный парк посетили не менее 40 тыс. человек, в 2023 году парк посетили уже 130 тыс. человек. При проектировании природного парка были предложены научно обоснованные границы с максимальным охватом наиболее репрезентативных местонахождений охраняемых видов растений и животных, ценных растительных сообществ, эстетически привлекательных ландшафтов, природных и исторических достопримечательностей. Однако при согласовании с органами власти и хозяйствующими субъектами, а также по итогам консультаций с местными жителями из границ парка был исключен ряд соэкологически ценных участков и сформировано три отдельных кластера вместо единой территории. В утвержденных границах природного парка зарегистрировано 18 охраняемых видов растений, грибов и животных из 27 отмеченных в районе проектирования парка. Полностью были исключены местообитания охраняемых видов, расположенные в границах села и на участках хозяйствующих субъектов (например, мыс Депплоранского). После создания природного парка на территории, не вошедшей в него, но популярной среди туристов, нерегулируемая антропогенная нагрузка сильно возросла, что уже привело к деградации местообитаний охраняемых видов и снижению эстетических свойств ландшафтов. В настоящей статье предлагается создание охранной зоны природного парка “Териберка” как одного из возможных эффективных механизмов решения природоохранных и экотуристических задач на интенсивно освоенных территориях с большим числом землепользователей. Этот шаг позволит качественно улучшить сохранность ценных местообитаний редких видов растений, грибов и животных, условия жизни местного населения, ограничив негативные последствия пребывания здесь многочисленных туристов, и поможет обеспечить ландшафтное и архитектурное единство новых

и реконструируемых построек с исторически сложившейся средой для сохранения высокой рекреационной и эстетической ценности ландшафтов старинного поморского села.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории; редкие виды растений и животных; Арктическая зона Российской Федерации; охрана биоразнообразия

DOI: 10.31857/S0869607124040017, **EDN:** MOYODS

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к посещению регионов и территорий, ранее мало популярных среди туристов. К их числу, безусловно, относится Мурманская область и Арктическая зона РФ в целом [21]. Отсутствие устоявшихся традиций и практик гостеприимства в условиях взрывного спроса заставляют арктические регионы не только ускоренными темпами решать вопросы развития туристской инфраструктуры, но главное — искать шаткий баланс между рекреационным использованием и сохранением хрупкой северной природы. Этой проблематике посвящено большое число исследований, где главным образом отмечается необходимость дополнительного нормативного правового регулирования, в том числе важность принятия специальных правил при посещении этих территорий [13], а также актуальность расширения сети особо охраняемых природных территорий [21].

Село Териберка — яркий пример, иллюстрирующий рост туристического интереса к Арктической зоне РФ и возникающие экологические и социальные проблемы. Это старинное поморское село, расположенное на берегу Баренцева моря Северного Ледовитого океана, которое за свою историю испытывало как периоды расцвета, так и забвения. С 2003 г. близ села были проведены масштабные подготовительные работы для строительства береговой инфраструктуры Штокмановского газоконденсатного месторождения. С 1 января 2009 г. село было исключено из пограничной зоны. В 2010 г. было начато строительство подъездной дороги к проектируемому заводу, однако уже в 2012 г. стройка приостановилась и до настоящего времени осталась незавершенной. За последние 5–7 лет Териберка стала одним из основных туристских объектов Мурманской области и местом работы большей части региональных гидов.

В условиях отсутствия адекватной туристкой инфраструктуры нерегулируемый туризм уже привел к значительной антропогенной деградации ценных природно-территориальных комплексов, а также существенному снижению рекреационной и эстетической ценности ландшафтов старинного поморского села, обладающего выраженной локальной идентичностью. По разным оценкам, Териберку в 2020 г. посетило от 35 до 40 тыс. человек.

Для решения этой проблемы в 2021 г. на площади 2418.5 га был создан природный парк¹. В его границах сохраняются 18 видов растений, лишайников и животных, занесенных в Красную книгу Мурманской области, из них пять внесены в Красную книгу Российской Федерации, и природно-территориальные комплексы долины реки, скальных сопков, морских побережий с изрезанной береговой линией и про-

¹ Постановление Правительства Мурманской области “О создании природного парка “Териберка” от 13 сентября 2021 г. N 643-ПП. Электронный ресурс: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDo=128023365&backlink=1&nd=128251402&rdk=> (дата обращения: 15.02.2024).

странств песчаных и валунистых морских террас, ландшафты высокой эстетической ценности [3, 8]. При проектировании парка важными ограничивающими факторами стали значительная хозяйственная освоенность территории, а также необходимость формирования режима с учетом социально-экономических интересов региона. На территории природного парка предусмотрены не только базовые запреты: на повреждение деревьев, кустарников, почвенного покрова, охоту, промышленное рыболовство и рыбоводство, мелиоративные и ирригационные работы, горные, буровые и взрывные работы, сбор и заготовку мхов, лишайников, разорение гнезд, разрушение и раскопку жилищ животных, распашку земель, захламливание и загрязнение территории и водных объектов, капитальное строительство. В целях сохранения одной из природных достопримечательностей природного парка — окатанных валунов в прибойной полосе, режимом природного парка предусмотрен запрет на сбор и вывоз объектов неживой природы без разрешения управляющего учреждения. Также введен запрет на обработку уловов любительского рыболовства (потрошение, обезглавливание) вне согласованных с управляющим учреждением мест.

Для решения природоохранных и рекреационных задач, стоящих перед природным парком, разработано зонирование территории [3]. Природоохранная зона предназначена для сохранения природной среды в естественном состоянии и особой охраны краснокнижных видов. Рекреационная зона — для обеспечения и осуществления рекреационной деятельности и природно-познавательного туризма. В результате создания природного парка антропогенные нарушения природно-территориальных комплексов должны были сократиться, а имеющиеся высокий эстетический потенциал ландшафтов будет использован более эффективно. В процесс согласования обосновывающих материалов территория природного парка еще до его создания существенно сократилась, соответственно уменьшилась и соэкологическая ценность ООПТ. Цель статьи — проанализировать отклонения утвержденных границ от научно-обоснованных и предложить создание охранной зоны природного парка “Териберка” как одного из возможных эффективных механизмов решения природоохранных и экотуристических задач на интенсивно освоенных территориях с большим числом землепользователей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В административном отношении природный парк “Териберка” расположен на севере Мурманской области на территории муниципального образования сельского поселения Териберка в Кольском районе Мурманской области; в 80 км к северо-востоку от г. Мурманска (рис. 1).

Район исследования охватывает скалистую мелкосопочную и прибрежную полосу часть побережья Териберской губы Баренцева моря. Рельеф местности эрозионно-денудационный, гористо-тундровый, резко расчлененный. Абсолютные отметки 0—177 м. Район относится к группе Мурманских тундровых ландшафтов, характеризующихся слабым выветриванием коренных кристаллических пород, эпизодически развитым крайне маломощным почвенным покровом (тундровые иллювиально-гумусовые почвы и альфегумусовые подзолы) и развитием тундровой растительности с карликовыми формами древесной растительности [7, 20]. Межсочные понижения заболочены либо заполнены многочисленными мелкими озерами.

В основу сравнительно-географического анализа территории в утвержденных и научно-обоснованных границах природного парка “Териберка” положено ком-

плексное исследование района, выполненное в сентябре 2020 года; дополнительные исследования проведены в 2021–2023 г. Природоохранное значение, рекреационная значимость и антропогенное воздействие и угрозы непосредственно в пределах утвержденных границ природного парка приведены в статье Е.А. Боровичева с соавт. [3]. Федеральный охранный статус приведен по “Перечню объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации” [11] и “Красной книге Российской Федерации” для животных [12]; региональный — по “Красной книге Мурманской области” [10] — ККМО. При характеристике природной ценности территории применена классификация местообитаний Европейского Союза — EUNIS, которая для выделения единиц использует признаки не только растительности, но и экотопа (состава и богатства субстрата, увлажнения, снегообеспеченности и т.д.). Она представляет собой широко используемую справочную основу для всех европейских типов местообитаний с указанием характерных видов и растительных сообществ. В тексте приводится характеристика местообитания и его кодировка в наиболее поздней редакции [18, 19].

Характеристика туристического потенциала территории была дана экспертно, с использованием качественных критериев эстетической оценки ландшафтов [18] и с учетом определения состояния природно-территориального комплекса [16], рекреационного [4, 6, 15] и экотуристического потенциалов [19]. При оценке эстетических свойств ландшафтов принимались во внимание следующие параметры: общее восприятие пейзажа, выразительность рельефа, пространственное разнообразие растительности, контрастность ландшафтов, степень антропогенной трансформации

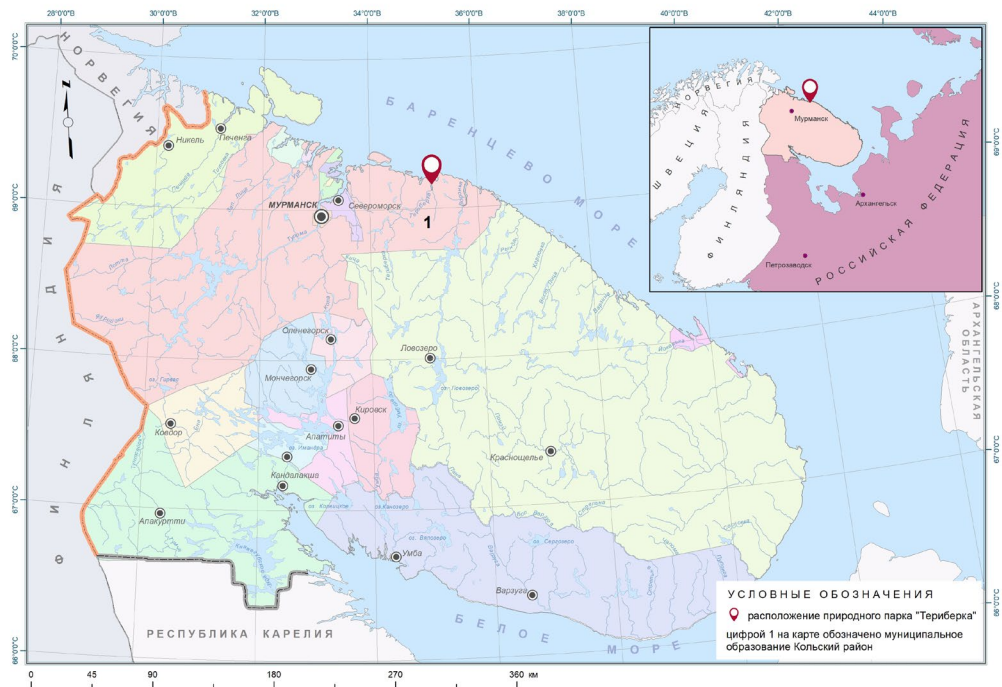


Рис. 1. Район исследования: расположение природного парка “Терiberка”.

Fig. 1. Research area: location of the Teriberka Nature Park.

ции пейзажа [14, 18]. Рекреационный потенциал территории оценивался по следующим показателям: природная привлекательность, культурно-познавательная ценность, транспортная и инфраструктурная доступность, экологические риски [6, 19].

Тематические карты созданы с использованием векторной топоосновы масштаба 1:200 000 ГлавНИИЦ, МПР, 1998 г. Визуализацию информации о распространении видов и расположении ООПТ и подготовку карт-схем проводили в ArcGIS10.7.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате анализа территории с использованием полевых и архивных материалов были предложены научно обоснованные границы природного парка (рис. 2) с максимальным охватом наиболее репрезентативных местонахождений охраняемых видов растений и животных, ценных растительных сообществ, эстетически привлекательных ландшафтов, природных и исторических достопримечательностей с учетом состояния природных комплексов и сложившихся стихийных туристических маршрутов на момент проектирования.

В настоящее время в Мурманской области процесс создания ООПТ детально регламентирован². После отмены в 2018 году обязательной государственной экологической экспертизы материалов комплексного экологического обследования,

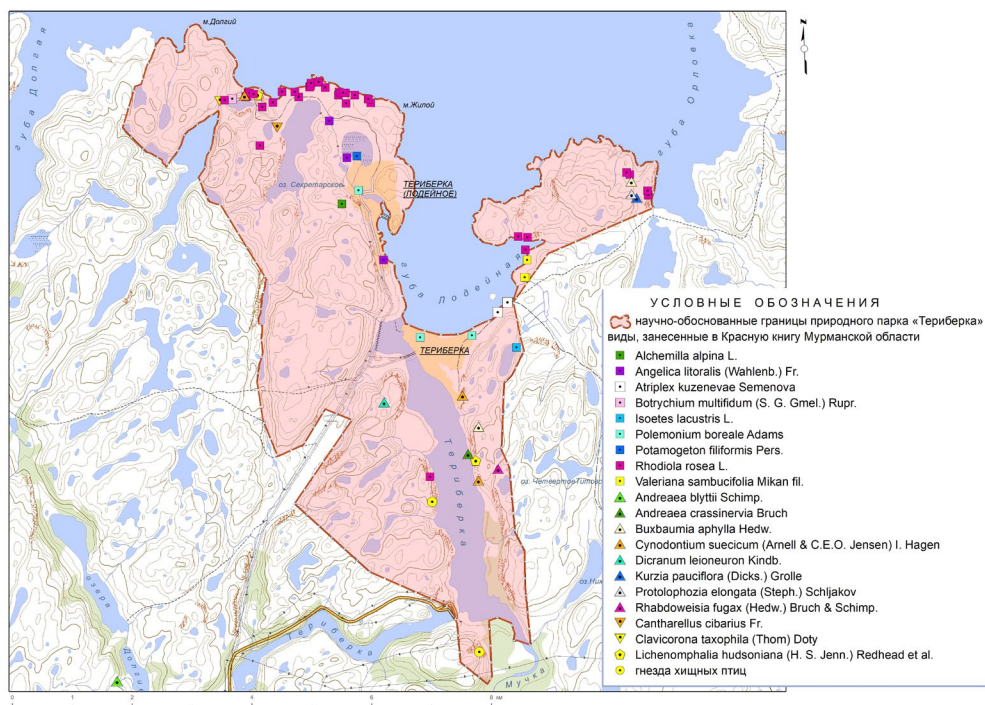


Рис. 2. Научно обоснованные границы природного парка “Териберка”.

Fig. 2. Reasonable boundaries of the Teriberka Nature Park.

² Постановление Правительства Мурманской области “Об утверждении Порядка подготовки и состава материалов, обосновывающих создание особо охраняемых природных территорий регионального значения, изменение режима их особой охраны” от 15 октября 2020 года N 701-ПП. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/570958131> (дата обращения: 27.03.2023).

обосновывающих придание территориям правового статуса ООПТ, в регионе разработаны собственные требования к порядку подготовки и составу материалов, обосновывающих создание новых ООПТ регионального значения. В целях нахождения баланса природоохранных задач и интересов жителей прилегающих территорий и хозяйствующих субъектов предусмотрен ряд административных процедур (согласований и общественных консультаций). По итогам указанных согласований границы проектируемого природного парка “Териберка” сильно изменились.

В утвержденных границах природного парка “Териберка” зарегистрировано 18 видов растений, лишайников и грибов, занесенных в ККМО [10], из которых пять включены в ККРФ [8, 9] (таблица). К югу и востоку от села располагается скальный комплекс с пологими вершинами, отвесными скальными стенками и небольшими мелководными озерами, выделенный в отдельный кластер. Этот участок был изначально предложен для охраны в качестве планируемого к созданию памятника природы регионального значения “Скалы Териберки” [1, 5, 9]. Здесь отмечены редкие виды мхов: цинодонциум шведский (*Cynodontium suecicum*), рабдoweизия скороопадающая (*Rhabdoweisia fugax*), андреа толстожилковая (*Andreaea crassinervia*), буксбаумия безлистная (*Buxbaumia aphylla*), а также лишайник лишеномфалия гудзонская (*Lichenomphalia hudsoniana*) [2, 8]. Грибы представлены двумя видами: клавикорона тисовая (*Clavicornia taxophila*) и лисичка обыкновенная (*Cantharellus cibarius*) [8]. Отвесные скалы являются местами гнездования редких видов хищных птиц — существующих (орлан-белохвост) и исторических (кречета)³. На прилегающих озерах неоднократно регистрировали особей лебедя-кликун (*Cygnus cygnus*) [1, 5, 9].

В утвержденных границах природного парка “Териберка” представлен ряд ценных в Европе типов местообитаний. В западной части территории природного парка от мыса Долгий до мыса Жилой и окрестностей Секретарского озера представлены редкие типы местообитаний, такие как морские обрывы и скалы (EUNIS2020: N312), кустарничково-лишайниковые несомкнутые растительные группировки сухих преимущественно кремнийсодержащих скал и выходов коренных пород (EUNIS2020: U2214), ивово-низкотравные сырые олиго-мезотрофные луговины в горных и зональных тундрах (EUNIS2020: S21221, R4117). К северу от пос. Лодейное располагается небольшой мелководный водоем — Питьевое озеро, в котором выявлена обширная популяция охраняемого рдеста нитевидного (*Potamogeton filiformis*) и представлен редкий тип местообитаний олиготрофных песчаных мелководий для водной растительности (EUNIS2012: C1.1). К югу от села в долине реки Териберки отмечены редкие местообитания березовых злаково-крупнотравных криволесий (EUNIS2020: T1C1426), на стенках отвесных скал — кустарничково-лишайниковые несомкнутые растительные группировки (EUNIS2020: U2214), ивово-низкотравные сырые олиго-мезотрофные луговины в горных и зональных тундрах (EUNIS2020: S21221, R4117) и мелководные олиготрофные озера (EUNIS2012: C1.1).

В утвержденных границах природного парка с ландшафтной точки зрения наибольшее значение для развития туризма имеют природно-территориальные комплексы высокой эстетической и историко-культурной ценности. Среди них основные площади занимают участки кустарничковых тундр на выходах коренных пород,

³ На рис. 1 мы не приводим названия видов, ограничиваясь термином “гнезда хищных птиц”, т.к. виды относятся к коммерчески уязвимым видам.

которые создают множество видовых точек с секторным, панорамным и циклорамным обзорами территории. В целом свободный доступ к самому доступному в стране участку побережья Баренцева моря обеспечивает круглогодичный поток туристов в Териберку.

Долина реки Териберки имеет высокую привлекательность для посещения туристами благодаря наличию множества ландшафтных кулис — изрезанной береговой линии с отвесными скалами и песчаными пляжами, разнообразию растительности (открытые скалы, участки тундр и кривоствольных березняков, болот и приморских лугов). Сочетание участков морского побережья с изрезанной береговой линией, пляжи и морские террасы формируют многоплановый пейзаж с отчетливыми ландшафтными кулисами, который создает хороший панорамный и даже циклорамный обзоры. На некоторых отвесных морских скалах можно обнаружить колонии морских птиц — птичьи базары, которые формируют уникальные экосистемы. Здесь располагаются колонии моевок (*Rissa tridactyla*), где присутствуют единичные серебристые чайки (*Larus argentatus*). Эти участки имеют высокую ценность для развития познавательного туризма, поскольку птицы легкодоступны для наблюдения. В акватории Териберской губы очень высока вероятность увидеть морских млекопитающих, например касаток.

Особую известность Териберке принесли ее пляжи и морские террасы из крупных (30–150 см) окатанных валунов, которые часто называют “драконьи яйца”, или “яйца динозавров”. Валуны, имеющие правильную яйцевидную форму, заполняют обширные пляжи и морские террасы между массивными скальными выходами. Эти пляжи в регионе встречаются только на побережье Западного Мурмана [17].

Другой известной достопримечательностью Териберки является водопад близ Малого Батарейского озера. Каньон водопада является тектоническим рвом, который сформировался несколько тысячелетий назад в результате разлома массивных гранитных скал. Небольшой ручей из системы Батарейских озер обрывается с 9-метровой высоты по системе множества скальных уступов. Здесь открывается эффектный секторный обзор на акваторию Баренцева моря. Также здесь представлен ряд исторических объектов и археологические памятники. В районе природного парка располагаются старая метеостанция и Батарея береговой обороны № 199 30-го отдельного артиллерийского дивизиона (конец 1930-х гг.). В 2010-х гг. обнаружено одно из самых больших древних поселений на Кольском Севере. Археологические находки показывают, что люди, населявшие эту территорию, относились к общей культуре, которая во второй половине III — первой половине II тысячелетия до н.э. занимала все побережье от Тромсе до Нокуевского залива. Ее носители были морскими охотниками на тюленей и китов, что было установлено по костным останкам и по орудиям, например гарпунам [23].

В результате согласований, учитывая планы по развитию социальной и туристской инфраструктуры, а также позицию местных жителей, территорию сельского поселения было решено исключить из границ природного парка. Здесь произрастают виды, включенные в ККМО [10] — дудник прибрежный (*Angelica litoralis*), лебеда Кузенева (*Atriplex kuzenevae*) и синюха северная (*Polemonium boreale*), не отмеченные в границах природного парка. Встречаются родиола розовая (*Rhodiola rosea*) и манжетка альпийская (*Alchemilla alpina*), включенные в ККРФ [11]. Непосредственно в окрестностях населенного пункта отмечены редкие типы местообитаний кустарничково-лишайниковых несомкнутых растительных группировок (EUNIS2020:

U2214), что были ранее нами отмечены и на западе природного парка. Здесь на песчаных террасах выявлены редкие местообитания приморских разнотравно-злаковых лугов высокого уровня на береговом валу и стабильных вторичных дюнах (EUNIS2020: N156). Район сельского поселения включает территорию песчаной морской террасы, природные комплексы которой имеют высокую эстетическую и рекреационную ценность. Подобные экосистемы не представлены на созданной территории природного парка вовсе. Территория села Териберка имеет особое значение и как объект историко-культурного наследия, как место ведения традиционный поморского промысла, который стремительно исчезает на всем Кольском Севере, а территории бывших поморских поселений становятся обычными дачами и теряют локальную идентичность [22].

Также из границ проектируемой ООПТ были исключены земельные участки, пользователи, арендаторы, собственники которых не согласовали их включение в состав природного парка. По этой причине за границами ООПТ оказалось местообитание федерального охраняемого вида — полушника озерного (*Isoetes lacustris*). Также не вошли в границы природного парка территории, находящиеся на полуострове Деппоранского — земельные участки предоставлены в пользование для предполагаемой инфраструктуры одного из вариантов разработки Штокмановского месторождения. Здесь были зарегистрированы несколько местонахождений родиолы розовой, мохообразных буксбаумии безлистной (*Buxbaumia aphylla*), курции малоцветковой (*Kurzia pauciflora*) и протолофозии удлиненной (*Protolophozia elongata*). Причем последний вид внесен в ККРФ как уязвимый. В районе птичьих базаров гнездится большой баклан (*Phalacrocorax carbo carbo*) и отмечены встречи обыкновенной гаги (*Somateria mollissima*). Эти участки представляют собой продолжение ценных природно-территориальных комплексов, представленных на территории природного парка, а следовательно, их фрагментарную охрану.

Не вошли в состав природного парка долины Долгих озер и ручья Долгого с прилегающей к ним полосой скалистого плато, где были найдены редкие и уязвимые виды мхов — андреа Блютта (*Andreaea blyttii*), цинодонтитум шведский (*Cynodontium suecicum*), рабдowejзия скороопадающая (*Rhabdoweisia fugax*). На этих озерах отмечаются группы лебедей (*Cygnus cygnus*). К северо-востоку от села Териберка на побережье Корабельной губы находятся редкие разнотравно-злаковые приморские луга высокого уровня (EUNIS2020: N156). На северном побережье губы Корабельной и полуострове Деппоранского представлены редкие типы местообитаний кустарничково-лишайниковых несомкнутых растительных группировок сухих, преимущественно кремний содержащих тундровых скал и выходов коренных пород (EUNIS2020: U2214) и ивково-низкотравные сырые олиго-мезотрофные луговины тундрах (EUNIS2020: S21221, R4117). На побережьях губ Орловка и Завалишина распространены редкие местообитания приморских обрывов и скалистых берегов (EUNIS2020: N312). Исключение этих территорий также привело к фрагментации участков охраны природно-территориальных комплексов долины реки и участка полуострова Деппоранского.

ОБСУЖДЕНИЕ

По данным Комитета по туризму Мурманской области в 2023 г. туристический поток в Териберку составил не менее 130 тыс. чел. Столь высокая интенсивность посещения территории вновь созданного природного парка обусловлена располо-

Таблица 1. Охраняемые виды растений, грибов и животных природного парка “Териберка” и вне его границ**Table 1.** Occurrence of Red Data Book species of plants, fungi and animals in Teriberka Nature Park and beyond its borders

Название	ККМО	ККРФ	ПП	вне ПП
<i>Грибы</i>				
<i>Clavicornia taxophila</i> (Thom) Doty — клавикорона тиссовая	3	—	•	—
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr. — лисичка обыкновенная	3	—	•	•
<i>Лишайники</i>				
<i>Lichenomphalia hudsoniana</i> (H. S. Jenn.) Redhead et al. — лихеномфалия гудзонская	5	—	•	•
<i>Мохообразные</i>				
<i>Andreaea blyttii</i> Schimp. — андреа Блютта	3	—	—	•
<i>Andreaea crassinervia</i> Bruch — андреа толстожилковая	16	—	•	—
<i>Andreaea alpina</i> Hedw. [= <i>Andreaea obovata</i> Thed.] — андреа обратнойцевидная	3	—	?	?
<i>Buxbaumia aphylla</i> Hedw. — буксбаумия безлистная	3	—	•	•
<i>Cynodontium sueticum</i> (Arnell & C.E.O. Jensen) I. Hagen — цинодонциум шведский	2	—	•	•
<i>Dicranum leioneuron</i> Kindb. — дикранум гладкожилковый	4	—	•	—
<i>Rhabdoweisia fugax</i> (Hedw.) Bruch & Schimp. — рабдowejзия скоропадающая	2	—	•	•
<i>Kurzia pauciflora</i> (Dicks.) Grolle — курция малоцветковая	3	—	—	•
<i>Protolophozia elongata</i> (Steph.) Schljakov — протолофозия удлинённая	3	2	—	•
<i>Сосудистые растения</i>				
<i>Alchemilla alpina</i> L. — манжетка альпийская	3	3	•	•
<i>Angelica litoralis</i> (Wahlenb.) Fr. — дудник прибрежный	3	—	—	•
<i>Atriplex kuzenevae</i> Semenova — лебеда Кузеновой	3	—	—	•
<i>Botrychium multifidum</i> (S. G. Gmel.) Rupr. — гроздовник многораздельный	3	—	•	—
<i>Isoetes lacustris</i> L. — полушник озерный	5	3	—	•
<i>Polemonium boreale</i> Adams — синюха северная	2	—	—	•
<i>Potamogeton filiformis</i> Pers — рдест нитевидный	3	—	•	—
<i>Rhodiola rosea</i> L. — родиола розовая	3	3	•	•
<i>Valeriana sambucifolia</i> Mikan fil. — валериана бузинолистная	3	—	•	•
<i>Птицы</i>				
<i>Falco rusticolus</i> Linnaeus, 1758 — кречет	2	2	•	—
<i>Haliaeetus albicilla</i> Linnaeus, 1758 — орлан-белохвост	3	3	•	•
<i>Falco peregrinus</i> Tunstall, 1771 — сапсан	2	2	о	о
<i>Phalacrocorax carbo carbo</i> Linnaeus, 1758 — большой баклан	3	—	—	•
<i>Cygnus cygnus</i> Linnaeus, 1758 — лебедь-кликун	3	—	о	о
<i>Somateria mollissima</i> Linnaeus, 1758 — обыкновенная гага	5	—	о	о

Обозначения: • — указание подкреплено гербарным образцом или подтвержденным гнездованием; о — факт встречи в гнездовой период; ? — более или менее точно локализовать местонахождение по этикетке невозможно; ККМО — Красная книга Мурманской области [10]; ККРФ — Красная книга Российской Федерации [11, 12].

жением в границах кластера I одного из самых популярных в регионе туристических маршрутов — от окраин левобережной части села Териберка через пляж “Яйца дракона” до Батарейского водопада (рис. 3).

Кластер I характеризуется наибольшей рекреационной привлекательностью, следовательно, значительной антропогенной нагрузкой и интенсивной деградацией отдельных природных комплексов. До момента придания территории особого природоохранного статуса основными причинами деградации экосистем являлись проезд на автотранспорте и внедорожной технике, а также использование территории для кемпингов, что привело к уничтожению или сильному повреждению природно-территориальных комплексов, в том числе растительного покрова. Отмечено как локальное нарушение тундры и березовых криволесий, так и их площадное уничтожение.

Пиковые нагрузки на наземные экосистемы природного парка приходятся на лето, особенно на дни проведения ставшего уже традиционным арктического фестиваля “Териберка”. В 2022 г. за два фестивальных дня (15–17 июля) природный парк посетили не менее 2 тыс. чел., в 2023 году (14–16 июля) — не менее 8 тыс. чел. Наиболее ярко деградация экосистем отмечена близ Батарейского водопада, где на нескольких десятках квадратных метров покров вытоптан до обнаженного торфа, наблюдаются активизация эрозионных процессов и синантропизация экосистем. Особое негативное воздействие отмечено на крупновалунных морских террасах, где в результате расчистки для проездов и создания каменных композиций разрушаются

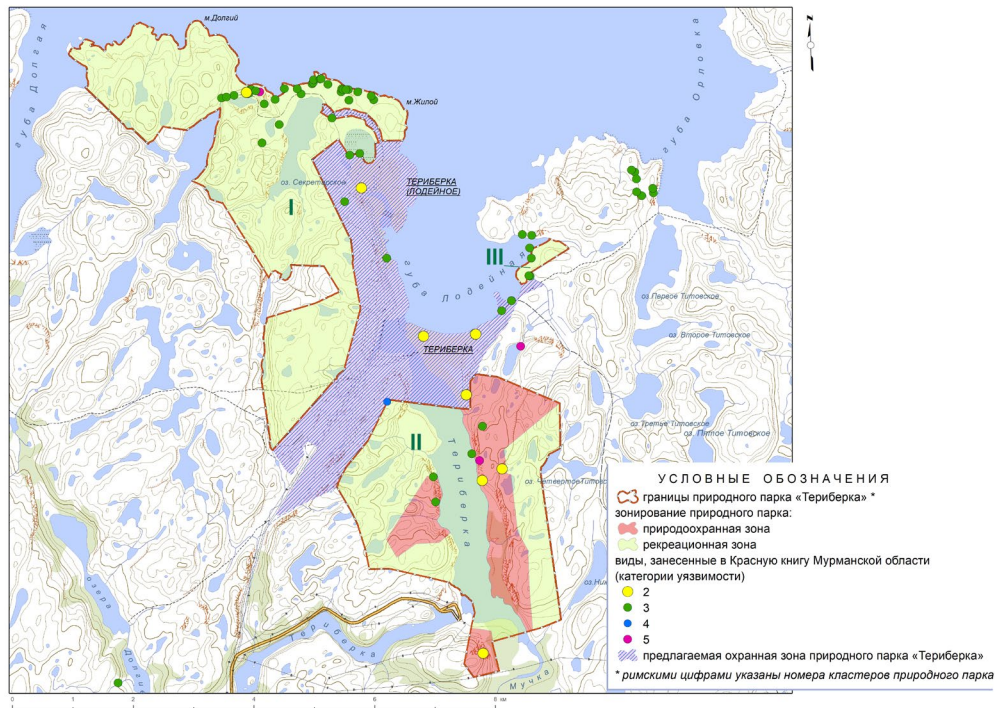


Рис. 3. Утвержденные границы природного парка “Териберка” и предлагаемые границы охранной зоны.

Fig. 3. Boundaries of the Nature Park Teriberka and projected protected zone.

разреженные растительные сообщества лишайников и мохообразных [3] и характерный ландшафтный рисунок камней, свойственным этим природно-территориальным комплексам. В июле 2022 г. впервые было принято решение о полном запрете движения транспорта по данному маршруту, что вызвало волнения в туристическом сообществе, поскольку сложившийся паттерн поведения организованных туристических групп предполагал доставку экскурсантов на автотранспорте непосредственно к Батарейскому водопаду. В настоящее время, благодаря контролю за соблюдением запрета на размещение кемпингов и за ограничением проезда техники, интенсивность деградиационных процессов существенно снизилась.

Учитывая, что регулирование туристической деятельности и снижение ее негативных последствий для ценных природных комплексов и объектов являются одними из ключевых целей созданного природного парка, помимо запретов на осуществление наиболее разрушительных видов деятельности, впервые в практике Мурманской области в положении о природном парке закреплено требование о необходимости выстраивания партнерских взаимоотношений между представителями легального туристического бизнеса и государственным учреждением, управляющим природным парком. Так, на территории природного парка деятельность по обслуживанию посетителей допускается только при наличии соглашения об экологически ответственном обслуживании посетителей между юридическими лицами (или индивидуальными предпринимателями) и учреждением, управляющим природным парком.

Юго-восточный кластер (II, рис. 3) испытывает меньшую антропогенную нагрузку ввиду отсутствия популярных туристических маршрутов и дорог. Здесь нарушения имеют узколокальный характер. Кластер III (рис. 3) имеет очень небольшую площадь, но испытывает отчетливую рекреационную нагрузку.

На не вошедшей в границы природного парка территории наибольшие нагрузки испытывают морские террасы с колосняковыми лугами, участки тундр и березовых криволесий к востоку от старой Териберки. Наибольшее негативное воздействие наблюдается в полосе приморских лугов, поскольку здесь бесконтрольно размещаются кемпинги с заездом автотранспорта. Уже сейчас здесь отмечено резкое снижение численности и площади пригодных местообитаний для видов ККМО [10]: синюхи северной (*Polemonium boreale*) и лебеды Кузенева (*Atriplex kuzenevae*). Из-за загрязнения территории пищевыми отходами и мусором появляются рудеральные растения, в том числе проростки томата и картофеля. В результате механических повреждений происходит снижение проективного покрытия и разрушение растительных сообществ, активизация эрозионных процессов, и как следствие, снижается рекреационная значимость ландшафтов. В прилегающих разреженных березовых криволесьях и тундрах в большом количестве присутствует бытовой мусор, десятки брошенных одноразовых мангалов и прочие следы жизнедеятельности человека. После создания природного парка нерегулируемая антропогенная нагрузка на эту территорию заметно возросла.

Непосредственно в границах поселений Териберка и Лодейное растительный покров сильно трансформирован: здесь широко распространены антропогенные луга, техногенные растительные группировки, а также участки, занятые под огороды и придомовые палисадники. Значительное опасение вызывает использование для озеленения потенциально инвазионных видов: розы морщинистой (*Rosa rugosa* Thunb.), астры иволистной (*Symphyotrichum* × *salignum* (Willd.) G. L. Nesom) и кени-

гии Вейриха (*Koenigia weyrichii* (F. Schmidt) T. M. Schust. & Reveal), а также наличие популяций костра безостого (*Bromus inermis* Leyss.). Местонахождения их пока единичны, однако дальнейшее распространение этих растений может представлять реальную угрозу для экосистем Териберки и снижению их эстетических качеств.

Значительной проблемой для Териберки является отчетливая эвтрофикация Лодейной губы, которая выражается в бурном развитии колоний водорослей на побережьях и мелководьях. Причина этого явления — водоотведение бытовых стоков самотеком в губу и отсутствие очистных сооружений. Уже сейчас это приводит к негативным последствиям, которые выражаются в снижении привлекательности ландшафтов, деградации экосистем литорали и мелководий, а также неблагоприятной экологической обстановке. При дальнейшей интенсификации туристического потока влияние эвтрофикации и отсутствия контроля эта проблема может только усугубиться.

Для замедления процесса деградации ценных природно-территориальных комплексов, учитывая несовпадение научно обоснованных и фактических границ природного парка “Териберка”, нами обосновано создание охранной зоны площадью 845 га.

Это позволит исключить наиболее разрушительные для охраняемых природных объектов и комплексов виды хозяйственной деятельности без изъятия земельных участков у собственников (пользователей). Так, в соответствии с разработанным проектом положением об охранный зоне природного парка “Териберка” в границах села предполагалось запретить:

- деятельность, влекущую за собой утрату или сокращение площади ландшафтов, имеющих эстетическую и природоохранную ценность;
- деятельность, влекущую за собой сокращение численности или ухудшение условий обитания объектов растительного и животного мира, занесенных в ККМО и ККРФ;
- поиск, разведку, добычу полезных ископаемых, торфа и сапропеля;
- взрывные работы;
- работы, предполагающие перемещение грунта или скальной породы объемом более 100 м³;
- размещение радиоактивных, токсичных, отравляющих и ядовитых веществ;
- строительство промышленных объектов.

Благодаря созданию охранной зоны предполагается качественно улучшить условия жизни местного населения, ограничив негативные последствия пребывания здесь многочисленных туристов. Например, планируется запретить передвижение и стоянку моторных транспортных средств на естественных пляжах, разбивку туристических стоянок и кемпингов, разведение костров вне установленных мест. Необходимым является запрет на обработку уловов любительского рыболовства вне помещений или согласованных мест. В период путины мойвы и трески берег Баренцева моря в границах села значительно замусорен отходами от разделки уловов, а также заставлен автотранспортными средствами рыбаков и палатками. Это значительно сокращает привлекательность ландшафтов и осложняет жизнь местному населению.

Создание охранной зоны поможет решить актуальную для Териберки задачу — обеспечение ландшафтного и архитектурного единства новых и реконструируемых построек с исторически сложившейся средой в целях сохранения высокой рекреаци-

онной и эстетической ценности ландшафтов старинного поморского села. Для этого режимом проектируемой охранной зоны предусмотрено требование по соблюдению дизайн-кода вновь возводимых сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие туризма в условиях Арктической зоны является сложной многофакторной задачей, в решении которой важное значение играют ООПТ. Территория в нижнем течении реки Териберка имеет высокое природоохранное значение, высокий рекреационный потенциал и природно-территориальные комплексы высокой эстетической ценности, которые в последнее десятилетие испытывают значительные антропогенные нагрузки.

Утвержденные границы природного парка неоптимальны с точки зрения охраны природы. При согласовании с органами власти и хозяйствующими субъектами, а также по итогам консультаций с местными жителями из границ парка были исключены многие участки с местонахождениями охраняемых видов, ценными местообитаниями, а также это привело к фрагментации охраны единых природно-территориальных комплексов.

В настоящее время природно-территориальные комплексы испытывают значительное антропогенное воздействие. Ввиду ограничений, наложенных на использование территории природного парка, резко возросло воздействие на соэкологически ценные участки к востоку от старой Териберки, которые не вошли в природный парк.

Одним из эффективных механизмов решения природоохранных и экотуристических задач в ООПТ, расположенных на интенсивно освоенных территориях с большим количеством землепользователей, является создание охранных зон.

Аналитическая часть исследования Е. А. Боровичева и М. Н. Кожина выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 24-14-20006, <https://rscf.ru/project/24-14-20006/>. Работа по сбору и обработке полевого материала выполнена в рамках государственных заданий ИППЭС КНЦ РАН и ПАБСИ КНЦ РАН с использованием гербарных фондов ПАБСИ и ИППЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белкина О. А.* О создании памятника природы “Скалы Териберки” (Мурманская область). // Материалы международной конференции “Современные экологические проблемы Севера (к 100-летию со Дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского)”. Часть 2. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2006. С. 128–129.
2. *Белкина О. А., Лихачев А. Ю.* К флоре мхов окрестностей Териберки (Кольский полуостров, Россия). // Труды КарНЦ РАН, 2023. № 1. С. 51–63. <https://doi.org/10.17076/bg1575>
3. *Боровичев Е. А., Кожин М. Н., Белкина О. А., Химич Ю. Р., Петров В. Н., Шулина М. В.* Как совместить охрану природы и рекреационную деятельность в Арктике?: пример природного парка “Териберка” (Мурманская область). // Арктика: экология и экономика, 2023. Т. 13, № 3. С. 461–472.
4. *Борисова Е. А.* Оценка природно-рекреационного потенциала территорий (на примере природного парка “Шаркан” и национального парка “Нечкинский”) // Аграрный научный журнал. 2012. № 2. С. 16–19.

5. Изумрудная книга Российской Федерации. Территории особого природоохранного значения Европейской России. Предложения по выявлению. Ч. 1. М.: Институт географии РАН, 2011–2013. С. 47–48.
6. Зиганшин И. И., Иванов Д. В. Методика комплексной оценки рекреационного потенциала особо охраняемых природных территорий // Российский журнал прикладной экологии. 2017. № 2. С. 52–56.
7. Казакова О. Н. Ландшафты Мурманской области // Природа и хозяйство Севера. 1971. Вып. 3. С. 8–12.
8. Кожин М. Н., Боровичев Е. А., Ширяев А. Г. Редкие и охраняемые виды растений, грибов и лишайников природного парка “Териберка” и его окрестностей (Мурманская область). // Труды КарНЦ РАН, 2023. № 1. <https://doi.org/10.17076/bg1628>
9. Константинова Н. А., Костина В. А., Королева Н. Е., Белкина О. А., Мелехин А. В. Ключевые ботанические территории Мурманской области и подходы к их выделению. Информационная система КНЦ РАН. 2008. URL: [Электронный ресурс] http://www.kolasc.net.ru/russian/sever07/sever07_3.pdf (дата обращения: 27.03.2023).
10. Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 с.
11. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации (зарегистрировано в Минюсте РФ 21.07.2023 № 74362), утвержденный приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23.05.2023 № 320 // Министерство юстиции Российской Федерации: сайт. URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/48550> (дата обращения: 15.02.2024)
12. Красная книга Российской Федерации (животные). 2-е издание. М.: ФГБУ “ВНИИ Экология”, 2021. 1128 с.
13. Куделькин Н. С. Правовая охрана окружающей среды Арктики при осуществлении туристской деятельности // NB: Административное право и практика администрирования. 2020. № 1. <https://doi.org/10.7256/2306-9945.2020.1.33261>
URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33261 (дата обращения: 08.01.2024).
14. Лозбенева Э. А. Методические подходы к оценке эстетических свойств ландшафтов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 116–126. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-116-126>
15. Макарова К. А. Оценка эколого-рекреационного потенциала национальных парков России // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2014. № 2. С. 19–23.
16. Мамай И. И. Динамика ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. 167 с.
17. Нерадовский Ю. Н., Мирошникова Я. А., Компанченко А. А., Чернявский А. В. Об уникальных каменных пляжах на арктическом берегу Кольского полуострова. Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 1. С. 46–56.
18. Николаев В. А. Ландшафтоведение: эстетика и дизайн. М.: Аспект Пресс, 2005. 176 с.
19. Петрова О. В. Оценка экотуристического потенциала особо охраняемых природных территорий Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН. 2020. № 4. С. 5–12.
20. Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л., Наука, 1983. 216 с.
21. Севастьянов Д. В. Арктический туризм и рекреационное природопользование — новый вектор развития северных территорий // Россия в глобальном мире. 2017. № 10 (33). С. 75–88.
22. Филин П. А. Поморские тони как форма организации промыслового хозяйства жителей Русского Севера // Соловецкое море. Историко-культурный альманах. Вып. 15. Архангельск — Москва: Товарищество северного мореходства, 2016. С. 35–44.

23. Шумкин В. Я., Колпаков Е. М., Мурашкин А. И. Научно-исследовательские работы Кольской археологической экспедиции ИИМК РАН в Мурманской области. // Археологические памятники России: охрана и мониторинг. Санкт-Петербург. 2012. С. 25–30.

24. Chytrý M., Tichý L., Hennekens S. M., Knollová I., Janssen J. A., Rodwell J. S., Peterka T., Marcenò C., Landucci F., Danihelka J. EUNIS Habitat Classification: Expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats. // Applied Vegetation Science. 2020. Т. 23. № 4. — С. 648–675.

25. Schaminée J. H., Chytrý M., Hennekens S. M., Mucina L., Rodwell J. S., Tichý L. Development of vegetation syntaxa crosswalks to EUNIS habitat classification and related data sets. Report to the European Environment Agency, Copenhagen. 2012.

Justification for the Creation of a Protected Zone of the Nature Park “Teriberka” (Murmansk Region)

E. Borovichev^{1, 2, *,} M. Kozhin^{1, 2, **,}

M. Shulina^{2, ***,} O. Belkina^{1, ****,} O. Petrova^{2, *****}

¹Avrora Polar-Alpine Botanical Garden-Institute Kola Science Center RAS, Apatity

²Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center RAS, Apatity

E-mail: *borovichyok@mail.ru

E-mail: **mnk_umba@mail.ru

E-mail: ***mshulina@ya.ru

E-mail: ****belkina_07@list.ru

E-mail: *****olechka.v.petrova@gmail.com

Abstract — The Teriberka Nature Park was created in the Murmansk Region in 2021 to preserve rare species and natural territorial complexes and promote the development of civilized forms of nature (ecological) tourism. It occupies an area of 2,418.5 hectares. The territory is experiencing a strong anthropogenic impact, especially recreational. In 2022, the tourist flow to the Teriberka Settlement amounted to at least 60,000 people, of which almost 40,000 people visited of the Natural Park; in 2023, the park was visited by 130 thousand people. In the process of formal procedures (including agreement with the authorities and business entities, as well as consultations with local residents), a number of zoologically valuable sites were excluded from the boundaries of the Natural Park. 18 species of plants, lichens and animals, listed in the Red Book of the Murmansk Region are registered within the boundaries of the Natural Park; 27 species were registered in the area. Thus, the localities of species listed in the Red Books, located within the boundaries of the village of Teriberka and in areas of economic facilities, were completely excluded. The creation of a buffer zone of the Teriberka Nature Park is substantiated as one of the possible effective mechanisms for solving environmental and ecotourism problems in intensively developed territories with a large number of land users. This step will qualitatively improve the living conditions of the local population, limiting the negative consequences of the presence of numerous tourists here and will help to ensure the landscape and architectural unity of new and reconstructed buildings with the historically established environment.

Keywords: protected areas, rare species of animals and plants, the Arctic zone of the Russian Federation, biodiversity conservation

REFERENCES

1. Belkina O. A. O sozdanii pamyatnika prirody "Skaly Teriberki" (Murmanskaya oblast' [On the creation of the "Rocks of Teriberka" Natural Monument (Murmansk Region)] // *Materialy mezhdunarodnoj konferenczii "Sovremennye ekologicheskie problemy Severa (k 100-letiyu so Dnya rozhdenii O. I. Semenova-Tyan-Shanskogo)"* [Proceedings of the international conference "Modern environmental problems of the North (on the occasion of the 100th anniversary of the birth of O. I. Semenov-Tyan-Shansky)" Part 2]. Apatity: Kola Science Center RAS, 2006. P. 128–129.
2. Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Moss flora of the Teriberka area (Kola Peninsula, Russia). *Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. № 1. P. 51–63. <http://doi.org/10.17076/bg1575> (in Rus.)
3. Borovichev E. A., Kozhin M. N., Belkina O. A., Khimich Yu. R., Petrov V. N., Shulina M. V. Nature Park "Teriberka" (Murmansk Region): provision of a rationale for Creation. *Arctic: Ecology and Economy*, 2023 (in press) (in Russian).
4. Borisova E. A. Assessment of the natural and recreational potential of territories (using the example of the Sharkan Natural Park and the Nechkinsky National Park) [Ocenka prirodno-rekreacionnogo potentsiala territorij (na primere prirodnogo parka "Sharkan" i nacional'nogo parka "Nechkinskij")]. // *Agricultural Scientific Journal [Agrarnyj nauchnyj zhurnal]*. 2012. № 2. P. 16–19.
5. Izumrudnaya kniga Rossiiskoi Federatsii. Territorii osobogo prirodookhrannogo znacheniya Evropeiskoi Rossii. Predlozheniya po vyavleniyu. [Emerald book of the Russian Federation. Territories of special conservation value of European Russia. Suggestions for identification]. Part 1. Moscow: IG RAS, 2011–2013. P. 47–48.
6. Ziganshin I. I., Ivanov D. V. Metodika kompleksnoj ocenki rekreacionnogo potentsiala osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij [Methodology for a comprehensive assessment of the recreational potential of specially protected natural areas] // *Rossiiskij zhurnal prikladnoj ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]*. 2017. № 2. P. 52–56.
7. Kazakova O. N. Landshafty Murmanskoy oblasti [Landscapes of the Murmansk Region] // *Nature and economy of the North [Priroda i hozyajstvo Severa]*. 1971. Vol. 3. P. 8–12.
8. Kozhin M. N., Borovichev E. A., Shiryaev A. G. Redkie i okhranyaemye vidy rastenij, gribov i lichajnikov prirodnogo parka "Teriberka" i ego okrestnostej (Murmanskaya oblast') [Rare and Red-listed plants, lichens and fungi of the Teriberka Nature Park and its vicinities (Murmansk Region)]. // *Trudy KarNTs RAN [Trans. KarRC RAS]*. 2023. № 1. P. 78–84. (in Russ.)
9. Konstantinova N. A., Kostina V. A., Koroleva N. E., Белкина О. А., Мелехин А. В. Klyuchevye botanicheskie territorii Murmanskoi oblasti i podkhody k ikh vydeleniyu [Key botanical territories of the Murmansk region and approaches to their identification] *Informatsionnaya sistema KNTs RAN [Information system of the KSC RAS]*. 2008. [Электронный ресурс] URL: http://www.kolasc.net.ru/russian/sever07/sever07_3.pdf (access: 09.06.2022).
10. Krasnaya kniga Murmanskoi oblasti [Red Data Book of the Murmansk Region]. Kemerovo: Aziya-Print, 2014. 578 p.
11. Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby) [Red Data Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. List of flora objects included in the Red Data Book of the Russian Federation (registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on 21.07.2023. № 74362), approved by the Order No.320 dated 23.05.2023 of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Ministerstvo yustitsii Rossiiskoi Federatsii: sait = Ministry of Justice of the Russian Federation: website. (In Russ.) URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/48550> (accessed: 15.02.2024).
12. Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (zhivotnye) [Red Data Book of the Russian Federation (animals)]. Moscow: FGBU "VNII Ekologiya", 2021. 1128 p. (in Russian)

13. Kudelkin N. S. Pravovaya ohrana okruzhayushchej sredy Arktiki pri osushchestvlenii turist-skoj deyatel'nosti [Legal protection of the Arctic environment during tourism activities] // NB: Administrativnoe pravo i praktika administrirovaniya [NB: Administrative law and administration practice]. 2020. № 1. <http://doi.org/10.7256/2306-9945.2020.1.33261>
URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33261 (access date: 01/08/2024).
14. Lozbeneva E. A. Methodological approaches to assessment of aesthetic properties of landscapes. RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2022. Vol. 30, № 2. P. 116–126. (In Russ.)
<http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-2-116-126>
15. Makarova K. A. Ocenka ekologo-rekreacionnogo potentsiala nacional'nyh parkov Rossii [Assessment of the ecological and recreational potential of Russian National Parks] // Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta [Bulletin of the North Caucasus Federal University]. 2014. № 2. P. 19–23.
16. Mamai I. I. Dinamika landshaftov. [Dynamics of landscapes]. M.: Publishing house Mosk. Univ., 1992. 167 p.
17. Neradovsky Yu. N., Miroshnikova Ya. A., Kompanchenko A. A., Chernyavsky A. V. Ob unikal'nyh kamennyh plyazhah na arkticheskom beregu Kol'skogo poluostrova. [About unique stone beaches on the Arctic coast of the Kola Peninsula]. Vestnik MGTU. [Bulletin of MSTU]. 2021. Vol. 24, № 1. P. 46–56.
18. Nikolaev V. A. Landshaftovedenie: estetika i dizajn. [Landscape science: aesthetics and design]. M.: Aspect Press, 2005. 176 p.
19. Petrova O. V. Ocenka ekoturisticheskogo potentsiala osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij Murmanskoy oblasti [Assessment of the ecotourism potential of specially protected natural areas of the Murmansk Region] // Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN [Bulletin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2020. № 4. P. 5–12.
20. Ramenskaya M. L. Analiz flory Murmanskoy oblasti i Karelii. [Analysis of the flora of the Murmansk Region and Republic of Karelia]. L., Nauka. 1983. P. 216
21. Sevastyanov D. V. Arkticheskij turizm i rekreacionnoe prirodopol'zovanie — novyj vektor razvitiya severnyh territorij [Arctic tourism and recreational environmental management — a new vector for the development of northern territories] // Rossiya v global'nom mire [Russia in the global world]. 2017. № 10 (33). P. 75–88.
22. Filin P. A. Pomorskie toni kak forma organizacii promyslovogo hozyajstva zhitelej Russkogo Severa [Pomeranian toni as a form of organizing the fishing economy of residents of the Russian North] // Soloveckoe more. Istoriko-kul'turnyj al'manah. [Solovetskoe More. Historical and cultural almanac]. Vol. 15. Arkhangelsk — Moscow: Northern Navigation Partnership, 2016. P. 35–44.
23. Shumkin V. Ya., Kolpakov E. M., Murashkin A. I. [Research work of the Kola archaeological expedition of the Institute of Humanities of the Russian Academy of Sciences in the Murmansk Region]. // Arheologicheskie pamyatniki Rossii: ohrana i monitoring [Archaeological monuments of Russia: protection and monitoring]. Saint Petersburg. 2012. P. 25–30.
24. Chytrý M., Tichý L., Hennekens S. M., Knollová I., Janssen J. A., Rodwell J. S., Peterka T., Marcenó C., Landucci F., Danihelka J. EUNIS Habitat Classification: Expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats. Applied Vegetation Science. 2020. T. 23. № 4. P. 648–675.
25. Schaminée J. H., Chytrý M., Hennekens S. M., Mucina L., Rodwell J. S., Tichý L. Development of vegetation syntaxa crosswalks to EUNIS habitat classification and related data sets. Report to the European Environment Agency, Copenhagen. 2012.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боровичев Евгений Александрович

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение ФИЦ “Кольский научный центр РАН”, директор; Институт проблем промышленной экологии Севера — обособленное подразделение ФИЦ “Кольский научный центр РАН”, ведущий научный сотрудник, директор; Институт проблем промышленной экологии Севера — обособленное подразделение ФИЦ “Кольский научный центр РАН”, ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук, ул. Академгородок, 18а, г. Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209
e-mail: e.borovichev@ksc.ru

Borovichev Evgeny

Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Director; Institute of the Industrial Ecology Problems of the North KSC RAS, Leading Researcher, PhD (Biology), 18a Akademgorodok, 184209, Apatity, Murmansk Region, Russia.

e-mail: e.borovichev@ksc.ru

Кожин Михаил Николаевич

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение ФИЦ “Кольский научный центр РАН”, старший научный сотрудник лаборатории флоры и растительности, старший научный сотрудник лаборатории флоры и растительных ресурсов, кандидат биологических наук., ул. Академгородок, 18а, г. Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209

e-mail: m.kozhin@ksc.ru

Kozhin Mikhail

Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Senior Researcher of Laboratory Flora and Vegetation, Institute of the Industrial Ecology Problems of the North KSC RAS, Senior Researcher, PhD (Biology), 18a Akademgorodok, 184209, Apatity, Murmansk Region, Russia

e-mail: m.kozhin@ksc.ru

Шулина Мария Владимировна

Институт проблем промышленной экологии Севера — обособленное подразделение ФИЦ “Кольский научный центр РАН”, аспирант, ул. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия

e-mail: mshulina@ya.ru

Shulina Maria

Institute of the Industrial Ecology Problems of the North KSC RAS, PhD student, 14a Akademgorodok, 184209, Apatity, Murmansk Region, Russia

e-mail: mshulina@ya.ru

Белкина Ольга Александровна

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина — обособленное подразделение ФИЦ “Кольский научный центр РАН”, старший научный сотрудник лаборатории флоры и растительности, кандидат биологических наук. Академгородок, 18а, г. Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209

e-mail: belkina_07@list.ru

Belkina Olga

Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Senior Researcher of Laboratory Flora and Vegetation, PhD (Biology), 18a Akademgorodok, 184209, Apatity, Murmansk Region, Russia

e-mail: belkina_07@list.ru

Петрова Ольга Викторовна

Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФИЦ “Кольский научный центр РАН”, ведущий инженер лаборатории водных экосистем, ул. Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209

e-mail: olechka.v.petrova@gmail.com

Petrova Olga

Institute of the Industrial Ecology Problems of the North KSC RAS, PhD student, 14a Akademgorodok, 184209, Apatity, Murmansk Region, Russia

e-mail: olechka.v.petrova@gmail.com

УДК 911.3

МАЛЫЕ РЕКИ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ: ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

© 2024 г. А. А. Даукаев^{а, *}, Л. С. Гацаева^{а, **},

А. А. Абумуслимов^{а, b, ***}, С. С.-А. Гацаева^{с, ****}

^аКомплексный научно-исследовательский институт им. Х. И. Ибрагимова РАН,
Грозный, Россия

^bАкадемия наук Чеченской Республики, Грозный, Россия

^сГрозненский государственный нефтяной технический университет, Грозный, Россия

*E-mail: daykaev@mail.ru

**E-mail: gls69@yandex.ru

***E-mail: burum66@mail.ru

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

Поступила в редакцию 25.10.2023 г.

После доработки 28.11.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

Статья посвящена проблеме малых рек, составляющих более 95% от общего числа рек Чеченской Республики (ЧР). На основе анализа и систематизации материалов по многочисленным малым рекам дано количественное распределение рек по интервалам их длин, отмечены взаимосвязь расположения долин рек и населенных пунктов, а также изменения формы долины и мутности воды рек в зависимости от типа пород, прорезающих ими. Приведено краткое геолого-географическое описание отдельных малых рек Чеченской Республики, имеющих определенный интерес для развития научно-познавательного, оздоровительного и других видов туризма и рекреации. Также дана сравнительная оценка туристско-рекреационной привлекательности водных объектов по балльной системе на основе использования наиболее значимых показателей. По результатам оценки как наиболее привлекательные в отношении развития туристско-рекреационной деятельности выделены рр. Чанты-Аргун, Шаро-Аргун и Хулхулау. Обозначены основные проблемы малых рек и пути их решения. Предложены мероприятия по экологизации (запрещение сброса в реки неочищенных вод, бытового мусора, мониторинг состояния водоохран-ных зон и др.) и рациональному использованию потенциала малых рек.

Ключевые слова: малые реки, притоки, водный объект, устье, исток, водные ландшафты, рекреационный потенциал

DOI: 10.31857/S0869607124040025, **EDN:** MOYNRQ

ВВЕДЕНИЕ

На территории Чеченской Республики сосредоточены разнообразные туристско-рекреационные ресурсы: историко-культурные, археологические, биологические, геоморфологические и др. Одними из наиболее привлекательных являются гидрологические объекты. В данной статье акцентируется внимание на малых реках Чеченской Республики. К ним обычно относят реки длиной до 200 км. В Российской Федерации сосредоточено примерно 2.5 млн малых рек и ручьев. На протяже-

нии многих веков эти реки играли важную роль в жизни людей (водяные мельницы, рыболовство, транспортные артерии и пр.). В результате постепенно возрастающей антропогенной нагрузки состояние малых рек многих регионов мира оценивается как катастрофическое. И как результат — ежегодно с лица Земли исчезают сотни водотоков, и огромное количество их на грани исчезновения. Основными проблемами малых рек являются: бесконтрольный забор воды на хозяйственные и другие нужды; попадание загрязняющих веществ со свалок; сброс промышленных и коммунальных сточных вод; постепенное истощение грунтовых вод, питающих реки, за счет техногенных (бесконтрольное бурение скважин) и естественных (климатические) факторов. Эти проблемы в какой-то степени характерны и для рек Чеченской Республики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Статья базируется на кратковременных полевых исследованиях, использовании фондовых и статистических материалов организаций, занимающихся водными объектами республики, а также опубликованных работ по данной тематике.

Основными методами являлись: анализ, синтез, обобщение, систематизация.

Краткая орогидрографическая характеристика исследуемой территории и описание малых рек

Территория Чеченской Республики расположена в центральной части северного склона Большого Кавказа и прилегающих к нему Чеченской равнины, Передовых хребтов и Терско-Кумской низменности. Граничит с республиками Дагестан, Ингушетия, со Ставропольским краем, на юге — с Республикой Грузия. Площадь территории составляет более 16 тыс. км². В орографическом отношении территория ЧР делится на четыре зоны: Большой Кавказ (параллельные друг другу горные хребты: Боковой, Скалистый, Пастбищный и Черные горы), Терско-Сунженская возвышенность, Чеченская равнина, южная часть Терско-Кумской низменности, причем 2/3 площади — равнинная территория, а 1/3 — горная.

Чеченская Республика является одним из наиболее обеспеченных водными ресурсами регионов Российской Федерации (как поверхностными, так и подземными), которые сосредоточены в реках, озерах, ледниках, подземных резервуарах. Реки характеризуются выраженной неравномерностью распределения по территории республики (рис. 1.). Густота речной сети находится в тесной взаимосвязи с орографией и климатом: наиболее высока она в горной части республики (особенно в среднегорье), для которой характерно обильное выпадение осадков в течение всего года, уменьшается в предгорьях и еще меньше — на равнинной территории. В Затеречье (более засушливый район) рек практически нет.

На современном уровне социально-экономического развития республики значение водных объектов приобретает большое значение. Интенсификация сельского хозяйства, сбор песчано-гравийной смеси в руслах рек (используется как стройматериал), приводит к исчезновению более мелких водотоков, уменьшению стока, подтоплению берегов, заиливанию русел, ухудшению качества воды.

Изучением территории Чеченской Республики занимались ученые различных направлений науки (географы, геологи, биологи, экологи, археологи, филологи, этнографы и др.) [12, 13, 16].

По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Чеченской Республики, на территории республики протекает более 3 тыс. рек [1–2]. Эти данные требуют своего обоснования, так как не проводились целенаправленные потамологические исследования в силу различных факторов, одними из которых являются недостаточное финансирование на охрану окружающей среды и здоровья человека, нехватка научных кадров в области экологии и природопользования и т.д. К сожалению, и на сегодняшний день не разработаны механизмы осуществления комплексного исследования компонентов природы, в том числе малых рек, нет взаимодействия между природоохранными, научными учреждениями, вузами республики [5].

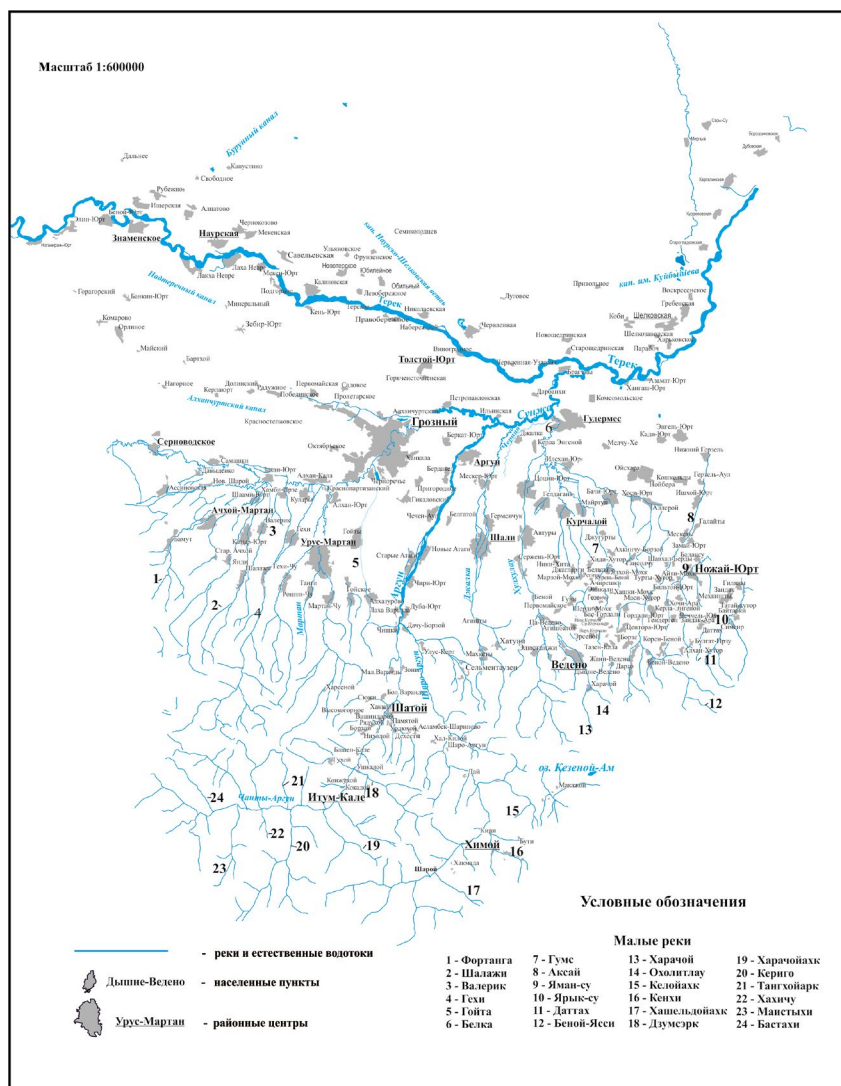


Рис. 1. Гидрографическая сеть Чеченской Республики.

Fig. 1. Hydrographic network of the Chechen Republic.

Практически все реки Чеченской Республики можно отнести к малым (табл. 1). Относительно крупными среди них являются рр. Терек, Сунжа и Аргун.

Таблица 1. Реки Чеченской Республики

Table 1. Rivers of the Chechen Republic

Интервал длин, км	Количество рек	Общая длина, км	Средняя длина, км
До 1	1893	936.39	0.49
1–5	1099	2236.14	2.93
5–25	183	1892.33	8.74
25–50	13	411.90	31.68
50–100	7	484.70	69.24
Более 100	3	547.30	182.43
Итого	3198	6508.76	2.04

В научной литературе, в фондовых работах природоохранных организаций и по другим источникам дается обычно подробная информация более десяти крупных рек протяженностью более 40 км, преобладающее большинство рек (более 97%) представляет собой небольшие водотоки длиной менее 10 км. Число основных рек (длиной более 10 км) насчитывается более 100. Ниже дается характеристика малых рек, наиболее привлекательных по своему туристско-рекреационному потенциалу.

Река Аргун. Образуется от слияния двух рек *Чанты-Аргун* (исток находится на северном склоне Главного Кавказского хребта) и *Шаро-Аргун* (берет начало от потока воды из грота ледника Качу Бокового хребта) у с. Дуба-Юрт. Река Аргун пересекает мощные толщи горных пород с возрастом от средней юры до четвертичных включительно, обнажения которых хорошо видны по обоим берегам реки. В них запечатлена длительная (около 200 млн лет) геологическая история развития региона в альпийский период. Вторая по многоводности река республики. Ее общая длина 148 км. В пределах Чеченской Республики в Аргун впадают более 50 рек и ручейков. Основными притоками р. Чанты-Аргун являются Блухопего, Бастихи, Маистихи, Хельдихойэрк, Гешичу, Бара, Мешехи, Хахичу, Харачойахк, Кериги, Варанды, Дзум-сэрк, Мулканэка, Похмерка, Вердыэрк, Нихалойэрк.

Стратиграфический разрез средней юры в верховьях р. Чанты-Аргун представлен мощной толщей глинистых, песчано-алевролитовых и алевролитово-глинистых пород с общей толщиной около 4 тыс. м с фауной пелеципод, аммонитов и белемнитов [7]. Разрез верхней юры представлен толщей доломитов, известняков, гипсов и ангидритов общей мощностью около 900 м [6]. В частности, по берегам р. Чанты-Аргун между населенными пунктами Ушкалой и Нихалой обнажается толща доломитов с мощностью до 120 м, предположительно верхнеоксфордского возраста [8].

В Шаро-Аргун впадают Данейламхи, Хуландойахк, Кенхи, Келойахк, Инзахк, Сунхайахк, Нежилыйахк, Абазулгол, Гойчу, Сюжи и др. Питание р. Аргун смешанное (грунтовое — 49%, снеговое — 4%, дождевое — 25%, ледниковое — 22% от годового стока). Следует отметить живописные гидрологические объекты в долинах рр. Чанты-Аргун и Шаро-Аргун: Нихалойские водопады вблизи одноименного населенного пункта (образованы несколькими горными потоками высотой от 2 до 32 м.), Вашиндаройский и Башенкалинский каскад водопадов. В долине р. Шаро-Аргун вблизи

с. Шатой находятся Аргунские каскады водопадов, например Буккузинский водопад высотой до 80 м. Под ним бьют ключи с повышенным содержанием серы.

Река Хулхулау образуется в результате слияния рр. Харачой и Охолитлау (в районе с. Харачой). Последние берут начало в предгорьях северного склона Большого Кавказа на высоте около 2400 м. Длина реки 67 км. Имеет много притоков. Так, в районе с. Ведено и Ца-Ведено в нее впадают рр. Ахкичу и Булк-че, Зуйн-ахк и др., чуть ниже по течению — еще несколько водотоков. Вдоль берегов реки расположились крупные селения Харачой, Дышне-Ведено, Ведено, Ца-Ведено, Сержень-Юрт, Автуры и Цоцин-юрт. Популярностью на этом маршруте пользуется водопад “Девичья коса” в с. Харачой. Официальное название — Харачойский водопад (занесен в список охраняемых природных объектов республики). Рядом установлен монумент знаменитому сыну чеченского народа — Зелимхану Харачоевскому. Примерно в 1.5–2 км к юго-востоку от с. Керла-Энгеной в нее впадает другая крупная река — Гумс. Место слияния этих двух рек находится в лесном массиве напротив небольшой вершины Гайран-корт Гудермесского хребта. Устье реки находится в 15 км по левому берегу р. Белка (приток р. Сунжа). Населенный пункт Сержень-юрт тянется вдоль берегов р. Хулхулау почти на 10 км. В советские годы в этом живописном уголке располагались базы летнего отдыха детей (пионерские лагеря). В зимнее время здесь же организовывались временные дома отдыха для взрослых [1, 9, 14].

Река Гумс. Берет начало с родников в горах на административной границе между Чеченской Республикой и Республикой Дагестан к юго-востоку от с. Харачой. В горной части имеет многочисленные небольшие притоки, а в равнинной части более крупные: Мичик со своими притоками малый Мичик, Гансол, Хумыс (Теллин-Ахко), Иснерк, Хумык, Ахко. Гумс протекает вдоль населенных пунктов Жани-Ведено, Тазен-Кала, Курчали, Гуни, Эникали, Кюрин-Беной, Ялхой-мохк, Бельти, Ахкинчу-Барзой, Джугурты, Майртуп. В 1.5–2 км к востоку от с. Керла-Энгеной вливается в р. Хулхулау.

Река, образующаяся при слиянии рр. Хулхулау и Гумс, носит название *Белка* (в исторических документах упоминается название “Белая”, под которой подразумевалась р. Хулхулау в своем нижнем течении). Наибольшей протяженностью по территории Чеченской Республики характеризуется *река Аксай* (50 км), берущая начало высоко в горах. От с. Ишхой-юрт до с. Нижний-Герзель она протекает вдоль административной границы с Республикой Дагестан. Крупным притоком Аксая является р. Беной-Ясси (24 км), притоками последнего являются рр. Асагалыль (13 км), Хори-эхк (10 км), Булк-эхк, (8 км), Карасэйн (10 км). В верхнем течении р. Аксай впадают также небольшие речки Телайн-ин, Мехкдаттин-эйн и другие речки без названия.

Река Ярык-су (30 км). Берет начало на северном склоне хребта Ишхой-лам. В нижнем течении вдоль берегов Ярык-су и ее притоков располагаются сс. Даттах, Чечел-хе, Симсир, Байтарки, Зандак и Гиляны. Основными притоками являются рр. Даттах (11 км), Эхке-чу (10 км), М. Ярык-су (14 км) и др. Вода характеризуется средней минерализацией, незначительной мутностью и относится к сульфатному классу [4, 11].

По берегам Ярык-су в мергелистых прослоях горизонта рики верхнего майкопа встречаются септариевые конкреции, в некоторых местах достигающих значительных размеров. Внутри них в жеодах находятся кристаллы кальцита [10].

По рекам Малая Ярык-су и Большая Ярык-су можно наблюдать стратиграфический разрез отложений, представленный известняками, мергелями, глинами, песча-

никами и галечниками речных террас с возрастом от верхнемелового до четвертичного включительно.

Река Яман-су (28 км). Исток реки находится вблизи населенного пункта Алхан-хутор. Яман-су протекает с юго-запада на северо-восток вдоль населенных пунктов Зандак-ара, Гендерген, Хочи-аре, Рогун-кажа, Айте-мохк, Ножай-юрт, Балан-су. Основными притоками являются рр. Бургат-эйн, Дзукуне-эйн, Булк-эйн, Безе-эйнчу, Карабулок, Шелме-Эйн [4, 10]. Русло реки складывается преимущественно легко размываемыми рыхлыми породами третичного возраста. В этой связи вода Яман-су характеризуется значительной мутностью и насыщенностью наносами. Она относится к сульфатному классу с высоким содержанием органики, сернокислых и хлористых солей [1, 2, 4, 11]. Особенностью описанных выше рек является то, что при выходе на предгорную равнину долины их резко расширяются. Это связано в основном с характером геологического строения. В горной части реки прорезают породы, менее податливые к размыву, тогда как в нижнем течении они пересекают легко размываемые водами глинисто-песчаные и другие породы четвертичного и неогенового возрастов.

В западной и центральной частях территории ЧР протекают реки, относящиеся к бассейну р. Сунжа.

Река Черная. Исток речки находится примерно в 5–10 км к юго-западу от с. Джалка, вытекает из родника, расположенного в районе Аргунского водозабора, и течет в северо-восточном направлении. На северо-западной окраине г. Гудермеса впадает в Белку, а ранее впадала в р. Сунжа. Глубина составляет в среднем 0,8 м, ширина 2–4 м. [9, 15]. Вода в речке холодная, чистая и приятная на вкус. Она включена в список памятников природы, имеет определенное рекреационное значение, часть реки приходится на территорию Аргунского биологического заказника. В настоящее время в районе пересечения рекой Федеральной трассы (М-29) располагается база отдыха.

Река Гойтинка. Плотиной, перегораживающей р. Гойтинка, формировано Чернореченское водохранилище (Грозненское море). Оно располагается на юго-западе г. Грозного. Общая площадь составляет более 100 га [18]. На базе водохранилища в 2012 г. начато строительство спортивно-оздоровительного туристического комплекса с водным бассейном в 119 га. Здесь строится гостиница на 100 номеров, двухуровневый плавающий ресторан на 400 мест и 13-этажный ресторан в виде средневековой башни высотой 50 м на 240 мест. Также строится 5-этажный развлекательный центр “Аква” площадью 3 га, предназначенный для семейного отдыха, культурно-зрелищных мероприятий и спортивно-оздоровительных процедур.

Оценка туристско-рекреационной привлекательности малых рек

Разнообразие природных ландшафтов, благоприятный климат, лечебно-оздоровительные факторы среды, богатство флоры и фауны и др. создают благоприятные предпосылки для развития сферы туризма и рекреации. Следует отметить, что для горной части территории ЧР (верхнее течение многих рек) характерны селевые и оползневые процессы, более того, отмечается синергизм их проявления. Ливневые дожди приводят к поднятию уровня воды в реках и, соответственно, к подмыву берегов, сложенных легкоразмываемыми горными породами, а это способствует сползанию береговых участков и образованию селевых потоков [3, 17]. Оползневые процессы по большей части распространены в восточной и юго-восточной частях

района Черных гор. Они периодически активизируются в весенне-осенний период из-за увеличения атмосферных осадков и таяния снегов высокогорья. Эти экологические риски необходимо учитывать при обосновании объектов туристско-рекреационной инфраструктуры. Сравнительная оценка туристско-рекреационной привлекательности водных объектов базировалась на следующих показателях, обладающих ключевой значимостью для развития туристско-рекреационной деятельности в исследуемом районе:

1) природная привлекательность (визуальная привлекательность ландшафтов, благоприятные рекреационные условия, наличие уникальных природных объектов — лесные массивы, водопады, памятники природы и др.);

2) культурно-познавательные ценность (оценка по наличию объектов материального и культурного наследия — башенные комплексы, музеи, мемориалы);

3) транспортная доступность (удаленность от г. Грозного, тип покрытия автомобильной дороги, время в пути до объекта от мест размещения и питания (гостиницы, кафе, рестораны), наличие общественного транспорта до туристического объекта);

4) наличие экологических рисков (возникновение неблагоприятных экологических событий: паводки, оползни, сели и др.);

5) инфраструктурная доступность (наличие баз отдыха, гостиниц).

Оценка туристско-рекреационной привлекательности производилась с использованием балльной системы от 1 до 3 (число баллов варьируется в зависимости от степени благоприятности параметров исследуемого объекта): благоприятные условия — 3 балла, относительно благоприятные — 2 балла, неблагоприятные — 1 балл. Результаты, полученные по отдельно взятым параметрам, суммируются.

Таблица 2. Оценка компонентов рекреационного потенциала рек Чеченской Республики

Table 2. Assessment of the components of the recreational potential of the rivers of the Chechen Republic

Название рек	Параметры оценивания					Итого
	Природная привлекательность	Культурно-познавательные ценности	Транспортная доступность	Наличие экологических рисков	Инфраструктурная доступность	
Аргун	3	3	2	2	2	12
Хулхулау	3	2	3	2	2	12
Гумс	2	1	1	2	1	7
Аксай	2	1	2	2	1	8
Черная	2	2	2	3	1	10
Ярык-су	2	2	1	1	1	7
Яман-су	2	2	1	1	1	7
Гойтинка	2	1	2	2	2	9

Чем выше полученный суммарный балл, тем больше рекреационный потенциал и благоприятнее условия для развития туристско-рекреационной деятельности. И в этом плане наиболее привлекательными являются рр. Аргун и Хулхулау. Но следует отметить, что результаты анализа отражают лишь потенциальные возможности исследуемых объектов для развития сферы туризма и рекреации.

Интенсификация хозяйственной деятельности сопряжена с усилением негативного воздействия на природную среду. Как известно, горные ландшафты характеризуются высокой уязвимостью. Любое вмешательство человека в экосистему должно быть законодательно регламентировано. В связи с этим основными направлениями решения проблем малых рек являются:

- создание условий, при которых водоток будет иметь максимально возможный водохозяйственный, энергетический, рекреационный и рыбохозяйственный потенциал;
- комплексный подход к решению задач по организации рекреационных зон, туризма, рыбоводства, каскада малых ГЭС;
- повышение рекреационного потенциала водного объекта;
- актуализация законодательной базы практического решения экологических проблем малых рек.

В плане экологизации рек также рекомендуются следующие мероприятия: запрещение сброса в реки неочищенных вод, бытового мусора; мониторинг состояния водоохраных зон; разработка других мероприятий, направленных на рациональное использование вод (установление равновесия между поступлением воды и годовым стоком, устранение губительного воздействия сточных вод предприятий, сельскохозяйственных угодий).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа материалов по водным объектам можно сделать вывод, что территория Чеченской Республики обладает значительным рекреационным потенциалом. В частности, по комплексу критериев водные ландшафты имеют определенный интерес для развития научно-познавательного, оздоровительного и других видов туризма и рекреации. В этом отношении наибольшим потенциалом характеризуются бассейны рек Чанта-Аргун, Шаро-Аргун, Хулхулау, Черная, долины которых изобилуют наличием живописных горных и предгорных пейзажей, уникальных водопадов, ключей и родников, минеральных и целебных источников, историко-археологических и др. объектов. Наиболее привлекательные из них включены в список памятников природы. Для ввода этих объектов в туристический кластер необходимо провести комплексные исследования по выявлению сезонной динамики основных гидрологических параметров (дебит воды, температура, минерализация и т.д.), а также других гидрохимических и гидробиологических особенностей. Всестороннее изучение данных объектов будет способствовать решению задач по рациональному использованию компонентов природной среды, и в целом социально-экономическому развитию данного региона. В экономическом отношении потенциал рек представляет интерес для развития малой гидроэнергетики.

В данной статье мы рассматривали лишь часть малых рек Чеченской Республики, наиболее изученных в ходе полевых тематических исследований. В дальнейшем необходимо продолжить работы в плане изучения рекреационного потенциала других гидрологических объектов, в том числе малых рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даукаев А. А., Абумуслимов А. А., Даукаев Аслан А., Абумуслимова И. А. Малые реки в юго-восточной части ЧР // Вестник АН ЧР, № 3. 2014. С. 74–78.
2. Даукаев А. А., Гацаева Л. С., Абумуслимов А. А., Даукаев А. А., Абумуслимова И. А. Природные условия и ресурсы развития рекреации и экотуризма в горной части Чеченской Республики // Устойчивое развитие горных территорий Кавказа. Коллективная монография по материалам IX международной научно-практической конференции “Горные территории: приоритетные направления развития”. 2019. С. 399–405.
3. Джанпугев Д. Р., Гедуева М. М., Хутуев А. М. Возможные синергетические проявления при реализации опасных экзогенных процессов для некоторых геосистем Кабардино-Балкарской Республики // Геолого-геофизические исследования Кавказа: Геология и геофизика Кавказа: Современные вызовы и методы исследований. Владикавказ, 2017. С. 282–287.
4. Доклад “О состоянии окружающей среды Чеченской Республики в 2013 г.”. Грозный, 2014. 242 с.
5. Керимов И. А., Даукаев А. А., Гайрабеков У. Т., Гагаева З. Ш., Гацаева Л. С. Эколого-географическая оценка туристско-рекреационного потенциала высокогорий Чеченской Республики // Экология, здоровье и образование в XXI веке. Глобальная интеграция современных исследований и технологий. Материалы III Кавказского экологического форума. 2017. С. 165–170.
6. Лозгачева Е. Ф. Литологическая характеристика верхнеюрских отложений разрезов рек Чанты-Аргун и Терек // Материалы по геологии и нефтегазоносности мезозоя Восточного Предкавказья. Труды СевКавНИИ. Вып. VII. М.: Недра, 1970. С. 33–39.
7. Макарьева С. Ф. Схема стратиграфии юрских отложений Чечено-Ингушской АССР по фауне фораминифер // Геология и нефтегазоносность Северо-Восточного Кавказа. Труды СевКавНИИ. Вып. IV. Орджоникидзе: Издательство “ИР”, 1969. С. 3–15.
8. Минин А. И. К вопросу о положении границ между оксфордом и кимериджем на территории Северной Осетии и Чечено-Ингушетии // Геология мезозойских и палеогеновых отложений Северо-Восточного Кавказа. Грозный: Чечено-Ингушское книжное изд-во, 1977. С. 61–67.
9. По Чечено-Ингушетии. Путеводитель / под общей редакции В. В. Рыжикова. Грозный: Чечингиздат, 1969. 268 с.
10. Руженцев В. И. Бенойско-Даттахский нефтеносный район. М.-Л.: Гос. научно-тех. геолого-разв. изд-во, 1932. 76 с.
11. Рыжиков В. В. и др. Природа Чечено-Ингушской республики, ее охрана и рациональное использование. 2-е изд., перераб. и доп. Грозный: Книга, 1991. 160 с.
12. Рыжиков В. В. Природа и хозяйство Чечено-Ингушской АССР. Грозный. 1981. 162 с.
13. Рыжиков В. В., Гребенников П. А., Зоев С. О. Чечено-Ингушская АССР (физико- и экономико-географическая характеристика). Грозный: Чечено-Ингушское книжное изд-во, 1971. 220 с.
14. Селяхов М.-С. Х. Среди снегов и родников рожденные // Нана, № 5–6. 2013. С. 66–69.
15. Уникальные гидрологические объекты ЧР и их рекреационный потенциал / Даукаев А. А., Даукаев Асл. А., Абумуслимова И. А., Джабраилов С.-Э. М. // Вестник АН ЧР. № 3. 2015. С. 96–102.
16. Экономика Чеченской Республики: коллективная монография / Академия наук Чеченской Республики. Под. ред. С. С. Решиева. Грозный, 2013. 594 с.
17. Daukaev A. A., Dadashev R. Kh., Gatsaeva L. S., Gakaev R. A. 2019 Landslides And Mudflows In The Chechen Republic: Synergetic Aspects IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering 012084

18. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Чернореченское_водохранилище_\(Чечня\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Чернореченское_водохранилище_(Чечня))

Small Rivers of the Chechen Republic: Features of Distribution and Problems of Rational Use

A. A. Daukaev^{1, *}, L. S. Gatsaeva^{1, **},

A. A. Abumuslimov^{1, 2, ***}, S. S.-A. Gatsaeva^{3, ****}

¹*Complex Scientific Research Institute named after. H. I. Ibragimov RAS, Grozny, Russia*

²*Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russia*

³*Grozny State Petroleum Technical University, Grozny, Russia*

*E-mail: daykaev@mail.ru

**E-mail: gls69@yandex.ru

***E-mail: burum66@mail.ru

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

Annotation. The article is devoted to the problem of small rivers, which make up more than 95% of the total number of rivers in the Chechen Republic (CR). Based on the analysis and systematization of materials on numerous small rivers of the Czech Republic, the quantitative distribution of rivers by their length intervals is given, the relationship between the location of river valleys and settlements, as well as changes in the shape of the valley and turbidity of river water depending on the type of rocks cutting through them are noted. A brief geological and geographical description of individual small rivers of the Chechen Republic, which are of particular interest for the development of scientific, educational, recreational and other types of tourism and recreation, is given. A comparative assessment of the tourist and recreational attractiveness of water bodies according to the point system based on the use of the most significant indicators is also given. According to the results of the assessment, the districts of Chanta–Argun, Sharo–Argun and Hukhlau were identified as the most attractive in terms of the development of tourist and recreational activities. The main problems of small rivers and ways to solve them are outlined. Measures for greening (prohibition of discharge of untreated waters, household garbage into rivers, monitoring of the state of water protection zones, etc.) and rational use of the potential of small rivers are proposed.

Keywords: small rivers, tributaries, water body, mouth, source, water landscapes, recreational potential

REFERENCES

1. Daukayev A. A., Abumuslimov A. A., Daukayev Aslan A., Abumuslimova I. A. *Malye reki v yugo-vostochnoy chasti CHR* // Vestnik AN CHR, № 3. 2014. S. 74–78.
2. Daukayev A. A., Gatsaeva L. S., Abumuslimov A. A., Daukayev A. A., Abumuslimova I. A. *Prirodnyye usloviya i resursy razvitiya rekreatsii i ekoturizma v gornoy chasti Chechenskoy Respubliki* // Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy Kavkaza. Kollektivnaya monografiya po materialam IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Gornyye territorii: prioritetye napravleniya razvitiya”. 2019. S. 399–405.
3. Doklad “O sostoyanii okruzhayushchey sredy Chechenskoy Respubliki v 2013 g.”. Grozny, 2014. 242 s.

4. Doklad "O sostoyanii okruzhayushchey sredy CHR v 2008 g." / Sostaviteli: Bolotbiyev KH.R., Musikhhanov R. L., Shakhtamirov N.YA. i dr. Groznyy, 2009. 317 s.
5. Kerimov I. A., Daukayev A. A., Gayrabekov U. T., Gagayeva Z.SH., Gatsayeva L. S. Ekologo-geograficheskaya otsenka turistsko-rekreatsionnogo potentsiala vysokogor'iy Chechenskoy Respubliki // *Ekologiya, zdorov'ye i obrazovaniye v KHKHI veke. Global'naya integratsiya sovremennykh issledovaniy i tekhnologiy. Materialy III Kavkazskogo ekologicheskogo foruma*. 2017. S. 165–170.
6. Lozgageva Ye. F. Litologicheskaya kharakteristika verkhneyurskikh otlozheniy razrezov rek Chanty-Argun i Terek // *Materialy po geologii i neftegazonosti mezozoya Vostochnogo Predkavkaz'ya. Trudy SevKavNII*. Vyp. VII. M.: Nedra, 1970. S. 33–39.
7. Makar'yeva S. F. Skhema stratigrafii yurskikh otlozheniy Checheno-Ingushskoy ASSR po faune foraminifer // *Geologiya i neftegazonosnost' Severo-Vostochnogo Kavkaza. Trudy SevKavNII*. Vyp. IV. Ordzhonikidze: Izdatel'stvo "IR", 1969. S. 3–15.
8. Minin A. I. K voprosu o polozhenii granits mezhdu oksfordom i kimeridzhem na territorii Severnoy Osetii i Checheno-Ingushetii // *Geologiya mezozoyskikh i paleogenovykh otlozheniy Severo-Vostochnogo Kavkaza*. Groznyy: Checheno-Ingushskoye knizhnoye izd-vo, 1977. S. 61–67.
9. Po Checheno-Ingushetii. Putevoditel' / pod obshchey redaktsii V.V. Ryzhikova. Groznyy: Chechingizdat, 1969. 268 s.
10. Ruzhentsev V. I. Benoysko-Dattakhskiy neftenosnyy rayon. M.-L.: Gos. nauchno-tekhn. geologo-razv. izd-vo, 1932. 76 s.
11. Ryzhikov V. V. i dr. Priroda Checheno-Ingushskoy respubliki, yeye okhrana i ratsional'noye ispol'zovaniye. 2-ye izd., pererab. i dop. Groznyy: Kniga, 1991. 160 s.
12. Ryzhikov V. V. Priroda i khozyaystvo Checheno-Ingushskoy ASSR. Groznyy. 1981. 162 s.
13. Ryzhikov V. V., Grebenshchikov P. A., Zoyev S. O. Checheno-Ingushskaya ASSR (fiziko-i ekonomiko-geograficheskaya kharakteristika). Groznyy: Checheno-Ingushskoye knizhnoye izd-vo, 1971. 220 s.
14. Selyakhov M.-S.KH. Sredi snegov i rodnikov rozhdonnyye // *Nana*, № 5–6. 2013. S. 66–69.
15. Unikal'nyye gidrologicheskiye ob'yekty CHR i ikh rekreatsionnyy potentsial / Daukayev A. A., Daukayev Asl.A., Abumuslimova I. A., Dzhabrailov S.-E.M. // *Vestnik AN CHR*. № 3. 2015. S. 96–102.
16. *Ekonomika Chechenskoy Respubliki: kollektivnaya monografiya / Akademiya nauk Chechenskoy Respubliki*. Pod. red. S. S. Reshiyeva. Groznyy, 2013. 594 s.
17. Daukaev A A, Dadashev R Kh, Gatsaeva L S, Gakaev R A 2019 Landslides And Mudflows In The Chechen Republic: Synergetic Aspects IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering 012084
18. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Chernorechenskoye_vodokhranilishche_\(Chechnya\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Chernorechenskoye_vodokhranilishche_(Chechnya))

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Даукаев Арун Абалханович

Доктор геолого-минералогических наук, заведующий Отделом топливно-энергетического комплекса и рационального природопользования Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова РАН, Грозный, Россия; главный научный сотрудник Отдела наук о Земле Академии наук Чеченской Республики, Грозный, Россия.

e-mail: daykaev@mail.ru

тел.: +7 (928) 782-89-40

Daukaev Arun Abalkhanovich

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department of Fuel and Energy Complex and Rational Environmental Management of the Complex Research Institute by H.I. Ibragimov RAS, Grozny, Russia; Chief Researcher, Department of Earth Sciences, Academy of Sciences of the Chechen Republic, Grozny, Russia.

e-mail: daykaev@mai.ru

tel.: +7 (928) 782-89-40

Гацаева Лиана Саидовна

Научный сотрудник Отдела топливно-энергетического комплекса и рационального природопользования Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова РАН, Грозный, Россия.

e-mail: gls69@yandex.ru

тел.: +7 (928) 644-13-22

Gatsaeva Liana Saidovna

Research fellow at the Department of Fuel and Energy Complex and Rational Environmental Management of the Complex Research Institute by H.I. Ibragimov RAS, Grozny, Russia.

e-mail: gls69@yandex.ru

tel.: +7 (928) 644-13-22

Абумуслимов Абдул Абдулхамидович

Доцент кафедры “География” Чеченского государственного университета им. А. Кадырова, Грозный, Россия. Ведущий научный сотрудник Отдела биоразнообразия Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова РАН, Грозный, Россия.

e-mail: burum66@mail.ru

Abumuslimov Abdul Abdulkhamidovich

Associate Professor at the Department of Geography of the Chechen State University by A. Kadyrova, burum66@mail.ru, Grozny, Russia;

Leading researcher at the Biodiversity Department of the Complex Research Institute by H. I. Ibragimov RAS, Grozny, Russia.

e-mail: burum66@mail.ru

Гацаева Света Сайд-Алиевна

Старший преподаватель кафедры “Прикладная геофизика и геоинформатика”

Грозненского государственного нефтяного технического университета им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия.

e-mail: sveta_gacaeva@mail.ru

Gatsaeva Sveta Said-Alievna

Senior lecturer at the Department of “Applied Geophysics and Geoinformatics” of the Grozny State Oil Technological University by acad. M.D. Millionshchikov, sveta_gacaeva@mail.ru Grozny, Russia.

e-mail: sveta_gacaeva@mail.ru

УДК 556.5

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ОСАДКИ И НАВОДНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АБАКАН

© 2024 г. Ю. Н. Курочкин^{а, *}, К. В. Чистяков^{а, **}, М. В. Сыромятина^{а, ***}

^аСанкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: y.kurochkin@spbu.ru

**E-mail: k.chistyakov@spbu.ru

***E-mail: m.syromyatina@spbu.ru

Поступила в редакцию 21.12.2023 г.

После доработки 05.11.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

В статье проводится статистический анализ динамики максимальных расходов воды на реке Абакан и экстремальных по интенсивности осадков в бассейне этой реки с целью выявления решающей роли последних в формировании высоких и катастрофических наводнений. Анализируется детальный характер взаимосвязей таких наводнений с экстремальными осадками на конкретных примерах 2014 и 2021 гг.. Наводнения в классах от высоких до катастрофических в подавляющем количестве случаев происходят по схеме наложения паводков на половодье. Выявлена особая роль пентадных (5-суточных) максимальных по интенсивности осадков в возникновении именно катастрофических наводнений. Также приводится разработанная множественная регрессионная модель зависимости максимального расхода воды от трех (из 12) статистически значимых климатических предикторов имеющая вполне приемлемые характеристики достоверности и точности.

Ключевые слова: экстремальные осадки, интенсивность осадков, максимальные расходы воды, катастрофические наводнения, река Абакан

DOI: 10.31857/S0869607124040031, EDN: MOUVKF

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что основным стокообразующим фактором являются осадки и, вероятно, из них именно экстремальные способны играть главную роль в формировании максимальных расходов воды с высокой вероятностью наводнений. Для проверки этого предположения был выбран бассейн реки Абакан с имеющимися у авторов данными по ежегодному максимальному расходу воды этой реки, расположенной в центре Алтае-Саянской горной страны и определена пространственно-временная структура осадков в этом бассейне, особенно частоты и интенсивности их экстремальных проявлений (рис. 1). Существует вероятность увеличения частоты опасных гидрологических явлений (ОГЯ) в южной части Сибирского ФО и, в частности, в бассейне р. Абакан [6]. Здесь наиболее опасными, по ряду признаков, относящихся к классу катастрофических, на данный момент времени можно считать наводнения 1969 и 2014 гг. [7]. Кроме того, в 2021 г. зарегистрировано наводнение, очень близкое по своим характеристикам к катастрофическому, относящееся к классу выдающихся (по классификации МЧС). Во всяком случае, режим ЧС в 2021 г. местные власти вводили и ущерб был нанесен значительный. При этом все

указанные выше наводнения происходили в мае. Характер этих наводнений предположительно связан с явлением наложения экстремальных паводковых вод на уже сформированное большое половодье.

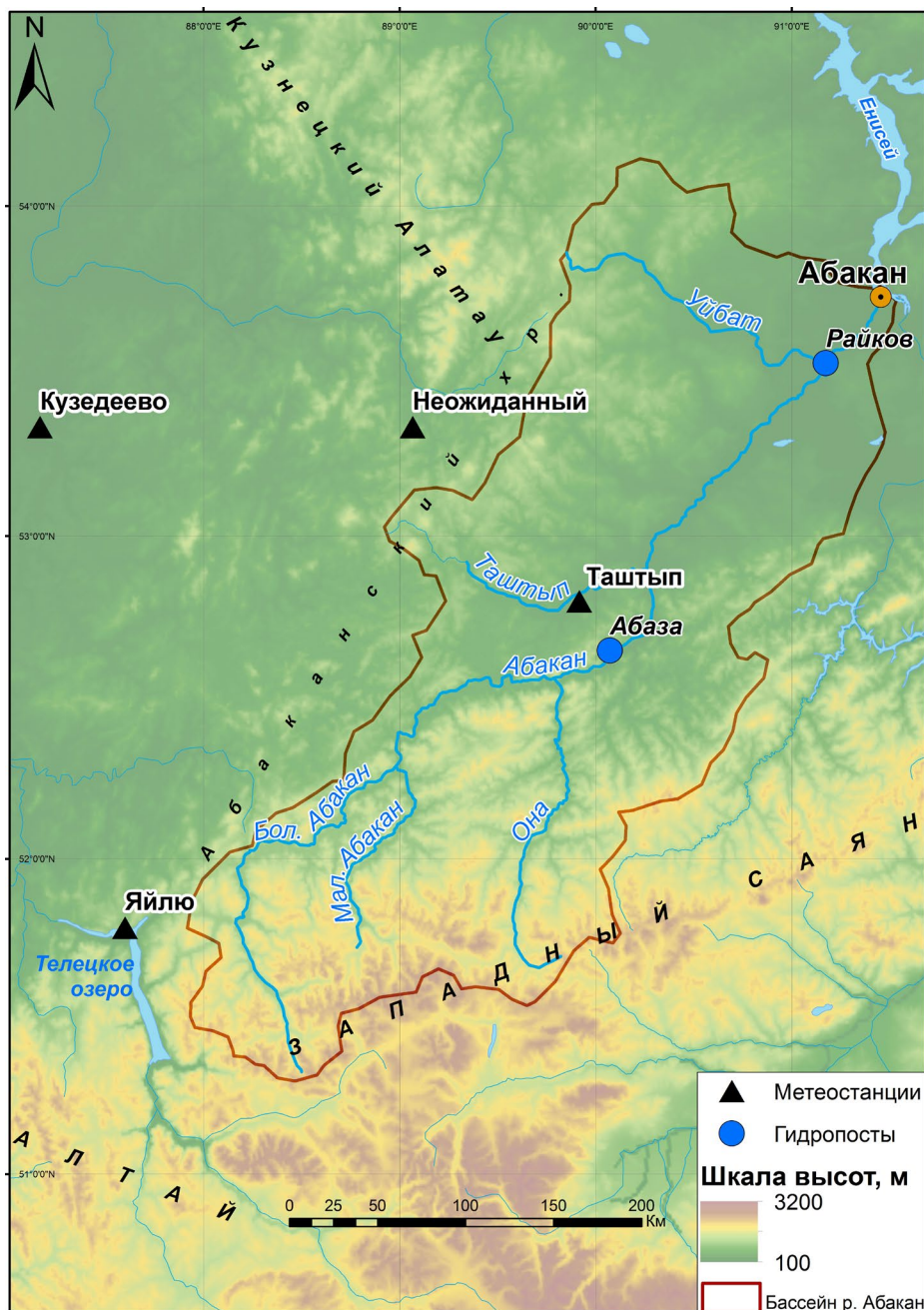


Рис. 1. Район исследования.

Fig. 1. Study area.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При очень низкой плотности метеостанций в данном регионе встал вопрос о выборе наиболее репрезентативной для последующего включения ее данных в схему “экстремальные осадки — экстремальный расход воды — ОГЯ (опасные гидрологические явления)” [2]. В качестве основных рассматривались метеостанции (м/с), расположенные на пути влагонесущих потоков и находящиеся на достаточно близком расстоянии от территории бассейна, особенно его горной части и на самой территории. Исходя из этого, были выбраны следующие м/с: Неожданный, Кузедеево, Яйлю и Таштып (рис. 1). Последняя расположена непосредственно в бассейне реки Абакан, но не может считаться репрезентативной для объективной оценки суммарных осадков, особенно выпадающих в горной части бассейна, в силу нахождения достаточно далеко от нее в орографической тени и общего относительно малого количества регистрируемых осадков (в 2–2.5 раза меньше, чем на остальных м/с). Тем не менее для оценки степени взаимосвязи между всеми задействованными м/с был проведен корреляционный анализ рядов месячных и годовых сумм осадков за период 1961–2021 гг., выявивший наиболее тесную связь между м/с Яйлю и м/с Таштып. Учитывая эту связь, а также весьма близкое расположение м/с Яйлю к верхней части бассейна р. Абакан и ее удачное нахождение по направлению основного вектора влагопереноса, данная метеостанция была выбрана опорной в дальнейших расчетах. Климатические данные взяты из архива ВНИИГМИ-МЦД.

Кроме того, было выдвинуто предположение, что при учете осадков наиболее важным показателем является их интенсивность. Причем она во времени сильно изменяется: осадки нередко начинаются в виде мороси, переходят в ливень, наконец, ослабевают и прекращаются и сразу снова начинаются. В таких случаях определить интенсивность и продолжительность отдельного дождя очень трудно [8]. При максимальных интенсивностях за 20 мин может выпасть почти половина месячной нормы осадков, а слой воды при этом составит около 30 мм, что и было зарегистрировано в мае 2014 г. на м/с Яйлю. Для более объективного подхода и с учетом доступности гидрометеорологической информации в данном исследовании для начальной проверки были выбраны осредненные характеристики максимальной непрерывной 1-, 2-, 3-, 4- и 5-суточной интенсивности майских осадков за весь период наблюдений 1961–2021 гг. и современный 30-летний (1991–2021 гг.) на м/с Яйлю, представленные ниже в табл. 1 и их хронологический ход с 1961 по 2021 гг. на рис. 2.

Таблица 1. Основные статистические показатели непрерывной 1-, 2-, 3-, 4- и 5-ти суточной интенсивности майских осадков на м/с Яйлю за весь и современный период наблюдений

Table 1. Main statistical indicators of continuous 1-, 2-, 3-, 4- and 5-day intensity of May precipitation at the Yailyu weather station for the entire and current observation period

	1 сутки	2 суток	3 суток	4 суток	5 суток
САЗ 1961–2021 (мм)	23.2	32.5	36.9	41.4	44.4
САЗ 1991–2021 (мм)	25.8	34.7	39.8	46.1	50.8
Кт 1961–2021(мм/10 лет)	0.1	0.1	0.6	1.6	2.2
Кт 1991–2021 (мм/10 лет)	2.4	2.5	3.9	5.5	7.4

Кт — коэффициенты линейного тренда.

Курсивом показаны статистически незначимые Кт на уровне $\alpha = 0.05$.

САЗ — среднее арифметическое значение максимальной интенсивности.

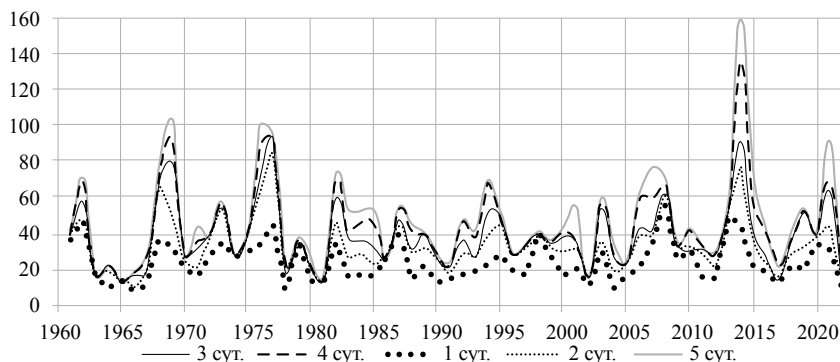


Рис. 2. Хронологический ход интенсивности майских осадков различной длительности (мм) на м/станции Яйлю.

Fig. 2. The intensity of May precipitation of various durations (mm) at the Yailu weather station.

Показатели интенсивности майских осадков также стремятся к общему увеличению и в абсолютном исчислении, и по скорости роста, причем наиболее впечатляющими являются 5-суточные (пентадные) показатели со скоростью роста более 7 мм/10 лет, средним значением на современном этапе в 51 мм.

Внутренняя взаимосвязь осадков различной интенсивности и продолжительности характеризуется предварительно рассчитанными весьма высокими коэффициентами парной корреляции от 0.83 до 0.94. Причем на графике отчетливо видны четыре пиковые составляющие 5-суточных майских осадков более 90 мм, приуроченные к известным наводнениям на Абакане 1969, 1976, 2014 и 2021 гг.. Для дальнейших исследований были выбраны осадки с 1-, 2-, 5-суточной интенсивностью, как наиболее характерные и уменьшающие объемы расчетов.

При анализе структуры осадков для удобства анализа и восприятия производилось условное разделение характеристик интенсивности осадков на аномальные и экстремальные по следующим принципам. Аномальные по интенсивности показатели осадков определялись абсолютной частотой их проявлений по трем основным градациям: 1-суточные более 30 мм, 2-суточные более 40 мм и 5-суточные более 60 мм и по двум основным 30-летним периодам: 1961–1990 гг. и 1991–2021 гг. За каждый месяц текущего года выбирался максимум по этим градациям, из которых, в свою очередь, выбирался годовой максимум с помощью программы ClimPACT. Годовые максимумы в подавляющем количестве случаев (около 95%) приходились на весенне-летний сезон (апрель–июнь). Для экстремальных по интенсивности показателей осадков, уже представляющих собой опасное природное явление и достаточно часто приводящих к катастрофическим процессам, была определена абсолютная частота их проявлений по следующим градациям: 1-суточные более 50 мм, 2-суточные более 60 мм и 5-суточные более 100 мм за те же два 30-летних периода и по той же методике, представленной выше.

Также был проведен анализ межгодовой изменчивости средних годовых и средних месячных расходов воды на гидропостях (г/п) Абаза и Райков, как фоновых характеристик динамики стока реки Абакан, и максимальных расходов воды.

Материалами для исследования послужили данные метеорологических и гидрологических станций и постов (рис. 1), данные ежегодных докладов и другие лите-

ратурные источники, результаты экспертных интервью, проведенных во время полевых работ, а также данные СМИ. Климатические данные взяты из архива ВНИИГМИ-МЦД.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая картина временной изменчивости поверхностного стока в бассейне реки Абакан почти аналогична всему бассейну Верхнего Енисея [3]. Тенденция к некоторому увеличению его среднего годового значения имеется, но выражена очень слабо (коэффициенты тренда статистически незначимы на уровне $\alpha = 0.05$). Тем не менее за весь период наблюдений (90 лет) общая прибавка в значениях среднего годового расхода на замыкающем створе Райков при коэффициенте линейной аппроксимации (тренда) $5.7 \text{ м}^3/10 \text{ лет}$ достигла $50 \text{ м}^3/\text{с}$, что составляет почти 13% от среднего многолетнего значения и заставляет предполагать дальнейшее его увеличение. На г/п Абаза эта прибавка составила $39 \text{ м}^3/\text{с}$ при доле в 12%. На этом же г/п для выявления внутригодовой структуры динамики изменений средних расходов воды были рассчитаны средние месячные расходы, коэффициенты тренда (КТ), общий прирост (убыль) в процентах и в абсолютном измерении в $\text{м}^3/\text{с}$ по двум периодам 1932–2021 гг. и за последние 30 лет 1991–2021 гг., что позволило косвенно определить явные вклады некоторых месяцев в общую картину изменения расходов (табл. 2).

Анализ таблицы показывает, что за оба периода основной вклад в увеличение годовых расходов вносит апрель, особенно в последние 30 лет, когда прирост в $232 \text{ м}^3/\text{с}$ (80%) апрельского расхода почти сопоставим с его средним месячным значением, и май с его максимальными объемами переносимой воды. При этом следует отметить существенную роль и осенних месяцев, в частности октября с абсолютным приростом в $101 \text{ м}^3/\text{с}$ за весь период наблюдений. А вот летний сезон показывает убыль в величинах расходов, причем, если за весь период отличился июнь с потерей в $131 \text{ м}^3/\text{с}$ (14%), то на современном отрезке такие же потери наблюдаются уже в июле с относительной величиной в 26% и добавлением в отрицательный баланс показателей августа и сентября.

Для дальнейшего анализа частоты проявления различных по водности лет реки Абакан были использованы данные длинного ряда средних годовых расходов воды на г/п Абаза. Границы для выявления степени водности были определены по среднеквадратическому отклонению ($\sigma = 54 \text{ м}^3/\text{с}$) от многолетней нормы среднегодового расхода в $313 \text{ м}^3/\text{с}$. При значении отклонения более 1σ данный год в зависимости от знака отклонения считался или многоводным или маловодным. При этом годы с отклонением более 2σ отнесены к аномальным многоводным, более 1.5σ , но менее 2σ — к средним многоводным и более 1σ , но менее 1.5σ — к ординарным многоводным. Аналогичная разбивка сделана и для маловодных лет с учетом знака (табл. 3). В разряд средневодных попали годы со значениями отклонений не более $\pm 1\sigma$. С точки зрения оценки максимальных положительных (аномальных) значений среднего годового расхода следует обратить внимание на его значение в 1941 г. в $493 \text{ м}^3/\text{с}$ с превышением среднего годового за весь период на 3σ и этот год можно считать аномально многоводным с обеспеченностью близкой к 1%. В 1969 г. наблюдалось превышение среднего значения на 2σ и составляло $437 \text{ м}^3/\text{с}$ и этот год также можно отнести к аномально многоводным. В свою очередь к аномально маловодным годам причисляются 1945 и 1963 гг. со средними годовыми расходами $191 \text{ м}^3/\text{с}$ и $200 \text{ м}^3/\text{с}$ соответственно.

Таблица 2. Основные статистические показатели межгодовой и внутригодовой изменчивости средних месячных расходов воды на г/п Абаза
Table 2. Main statistical indicators of interannual and annual variability of average monthly water discharge at the Abaza hydrological station

Весь период 1932–2021 гг. (90 лет)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Ср. расход	46.3	38.7	36.6	218.4	919.2	907.7	494.8	392	318.4	220.6	106.1	59.3	313.2
Кг м³/1 год	0.22	0.13	0.17	1.67	0.82	–1.52	0.19	0.94	0.52	1.18	0.75	0.38	0.45
Прирост (убыль) в %	41	29	40	66	8	–14	3	21	14	46	61	55	12
Прирост (убыль) в м³/с	19	11	15	144	71	–131	16	81	45	101	65	33	39
Период 1991–2021 гг. (30 лет)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Ср. расход	54.1	44.5	42.9	293	958	864	509	411.6	333.5	248.8	130.5	70	329.6
КТ м³/1 год	–0.12	–0.05	–0.12	7.74	2.81	1.81	–4.37	–2.33	–3.17	1.55	1.52	0.21	0.46
Прирост (убыль) в %	–7	–3	–8	80	9	6	–26	–17	–29	19	35	9	4
Прирост (убыль) в м³/с	–4	–2	–4	232	84	54	–131	–70	–95	47	46	6	14

Таблица 3. Многоводные и маловодные годы по данным г/п Абаза (классификация авторов)**Table 3.** High-water and low-water years according to data at the Abaza hydrological station (classification by the authors)

	Многоводные			Маловодные		
	Аномальные	Средние	Ординарные	Аномальные	Средние	Ординарные
Годы	1941, 1969	1938, 1942, 1995, 2006, 2010, 2013	1958, 1961, 1966, 1984, 1990, 2004, 2009	1945, 1963	1933, 1934, 1974, 2012	1939, 1940, 1951, 1955, 1965, 1968, 1971, 1998
Кол-во	2	6	7	2	4	8

Но особый интерес представляют сезонные и кратковременные периоды с резким повышением расходов воды, вызванным сочетанием различных гидрометеорологических параметров и приводящим к опасным гидрологическим явлениям [1]. Как отмечают авторы в своей работе [7, с. 59], “большая водность половодья ($Q_{ср. V-VI} \geq 980 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе р. Абакан — г. Абаза, по данным многолетних гидрологических наблюдений) — это первый сигнал к формированию экстремально высоких среднесуточных расходов воды и, соответственно, наводнения в черте населенных пунктов по берегам р. Абакан, от г. Абаза и далее, вниз по течению до г. Абакан. В качестве граничного (критического) среднесуточного расхода, превышение которого и переводит расходы в разряд экстремальных, принят расход $2380 \text{ м}^3/\text{с}$, соответствующий уровню 490 см — высотной отметке неблагоприятного гидрологического явления, при достижении которого начинается подтопление части г. Абаза и полотно ж/д Абаза — Абакан (по данным Среднесибирского УГМС)”.

Поэтому, кроме осредненных годовых и суточных характеристик, весьма серьезный интерес при оценке динамики расходов представляет выявление особенностей пространственно-временного распределения критических значений расхода воды, и особенно его максимальной величины, зафиксированной в течение конкретного гидрологического года. Такой подход позволяет выявить даже краткосрочные (не более суток), но очень опасные подъемы воды. На г/п Абаза такое критическое значение, после которого, как правило, начинается затопление, выше среднесуточного и составляет $2640 \text{ м}^3/\text{с}$. Эта характеристика тесно связана с опасными явлениями наводнений на исследуемой территории. Для ее анализа были использованы данные из работы [9] за период с 1932 по 2018 гг., дополненные современными данными до 2021 г. [10] включительно по г/п Абаза. Временное распределение этих расходов представлено на рис. 3.

Анализ графика указывает на наличие двух катастрофических наводнений в 1969, 2014 гг. и выдающегося в 2021 г., что подтверждается и оперативной информацией [4, 5]. Значения максимального расхода в 6700 , 7100 и $5200 \text{ м}^3/\text{с}$ соответственно превышают отклонение от среднего многолетнего более чем на 2σ . При этом все три наводнения регистрировались именно во второй половине мая и провоцировались аномальными по интенсивности осадками. При максимальных значениях расхода более 1σ ($\sim 3500 \text{ м}^3/\text{с}$) и до 2σ наблюдались высокие наводнения, к которым можно отнести 1941, 1954, 1962, 2001, 2003, и 2006 гг. [4, 5, 6]. Основная доля высоких наводнений также происходила по схеме наложения паводковых вод на половодье, за исключением 2004 и 2011 гг., когда наводнения зафиксированы в середине апреля и были связаны с заторными явлениями. В остальные годы превышения критиче-

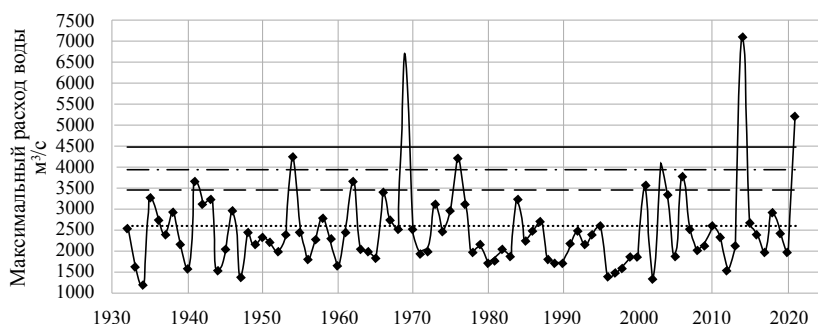


Рис. 3. Хронологический ход максимальных (зарегистрированных по одному наблюдению в год) расходов воды на г/п Абаза. Точечной линией указаны значения больше $2640 \text{ м}^3/\text{с}$ (критическое), при превышении которого начинается процесс затопления дачного и жилого сектора, не защищенного дамбами. Прерывистыми линиями указываются значения расхода более 16 , 156 , приводящие к высоким наводнениям и сплошной линией 26 — к выдающимся и катастрофическим.

Fig. 3. Maximum water discharge (recorded by one observation per year) at the Abaza hydrological station. The dotted line indicates values greater than $2640 \text{ м}^3/\text{с}$ (critical), when exceeded, the process of flooding of the dacha and residential sector not protected by dams begins. Broken lines indicate discharge values of more than 16 , 156 , leading to high floods, and a solid line 26 — to outstanding and catastrophic ones.

ского уровня определялись низкие наводнения с затоплением некоторых участков. Таких лет насчитывается 13. Всего за период в 89 лет зарегистрировано 27 превышений критической величины расхода воды, т.е. практически в среднем 1 раз в 3 года наблюдались по меньшей мере затопления селитбы. При этом следует отметить, что весьма спокойный период с 1978 по 2000 гг. всего с одним небольшим превышением, сменился периодом с 2001 по 2021 гг. обильным на наводнения, в том числе и катастрофическим 2014 г., хотя общая степень водности именно за этот год была низкой со средним годовым расходом всего $367 \text{ м}^3/\text{с}$ (средневодный год). Сравнение показателей среднего годового расхода воды и максимального расхода, зарегистрированного не менее 1 раза в год, показывает, что не всегда в многоводный год наблюдаются наводнения и наоборот — крупное наводнение может проявиться в средневодный год. Например, кроме 2014 г., такая же картина наблюдалась в 1954 г. (средневодный год — $343 \text{ м}^3/\text{с}$), а максимальный расход в $4230 \text{ м}^3/\text{с}$ привел к серьезному наводнению.

Далее приводятся результаты анализа частоты проявлений аномальных и экстремальных по интенсивности осадков по данным репрезентативной метеостанции (табл. 4).

Анализ табличных данных указывает на достаточно ошутимое увеличение частоты выпадения осадков и в аномальных и в экстремальных диапазонах интенсивности, причем в относительном измерении наибольший эффект наблюдается у пентадных осадков более 100 мм — около 60% .

Особый интерес представляют временные тенденции в изменчивости максимальных по интенсивности осадков. Их определение производилось по трем периодам: общему с 1961 по 2021 гг., “климатической нормы” с 1961 по 1990 гг. и современный 30-летний “новой климатической нормы” с 1991 по 2021 гг. Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Таблица 4. Количество случаев с аномальными и экстремальными по интенсивности осадками за различные периоды**Table 4.** Number of cases with anomalous and extreme precipitation intensity for different periods

М\станция	1-суточные максимумы более 30 мм		2-суточные максимумы более 40 мм		5-суточные максимумы более 60 мм	
	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021
Яйлю	27	28	27	27	27	29
	1-суточные максимумы более 50 мм		2-суточные максимумы более 60 мм		5-суточные максимумы более 100 мм	
	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021
Яйлю	5	6	11	12	5	8

Таблица 5. Коэффициенты тренда (Кт) максимальных осадков 1-, 2-, и 5-суточной интенсивности (мм/10 лет) за различные периоды**Table 5.** Trend coefficients (Kt) of maximum precipitation of 1-, 2-, and 5-day intensity (mm/10 years) for various periods

М/станция	Длительность	1961–2021 гг.	1961–1990 гг.	1991–2021 гг.
Яйлю	1-суточные	–0.3	0.9	2.9
	2-суточные	1.7	1.0	5.9
	5-суточные	2.7	4.7	6.6

Курсивом показаны статистически незначимые Кт на уровне значимости $\alpha = 0.05$

Наибольший интерес в этой таблице представляет значение коэффициента тренда 5-суточных максимальных по интенсивности осадков за последние 30 лет, составляющий почти 7 мм прироста за 10 лет. Этот факт позволяет сделать предварительный вывод об увеличении роли такого типа осадков в образовании крупных наводнений.

Соотношение майских осадков и уровней воды реки Абакан (г/п Абаза) в 2014 и 2021 г. хорошо иллюстрируется ниже на рис. 4, 5. Можно отчетливо заметить, что при непрерывном нарастании интенсивности суточных осадков на м/с Яйлю (естественно, их основная масса выпадает в верхней части бассейна р. Абакан), стоковая волна из двух составляющих, половодья и паводка, достигает г/п Абаза приблизительно за 1 сутки после пикового значения осадков и создает реальную угрозу затопления практически всех населенных пунктов ниже по течению. Также хорошо заметны две предварительные волны половодья при наводнении 2014 г., в большей мере связанные с резким потеплением и таянием снега в горах. Первая волна определяется исключительно аномальной температурой 1-й декады мая, когда среднедекадная температура на м/с Яйлю достигала 11.5°C, средняя максимальная 20.2°C, а 9 мая был зарегистрирован максимум в 25.2°C, что вызвало интенсивное таяние снега в горах и предгорьях бассейна Абакана при его небольшой средней сезонной мощности в 18 см (на м/с Яйлю). Вторая волна уже имеет сочетанный характер: на развивающееся половодье накладывается паводок. Таким образом половодье с наложенным паводком продолжалось с 9 мая и по 2 июня 2014 г. В 2021 г. первая волна половодья также вызвана в основном термическими причинами: пентада с 5 по 9 мая отличилась средней суточной температурой 14.5°C, средней макси-

мальной 21.9°C, а максимум был зарегистрирован 7 мая и достигал 24.1°C, причем по сравнению с 2014 г. снега было накоплено в 2 раза больше — 39 см. А начиная с 18 мая наблюдается и увеличение количества осадков, и 5-суточный максимум в 75 мм привел к опасному подъему воды, хотя и с меньшим уровнем и ущербом, в сравнении с 2014 г.

Приблизительно такая же ситуация наблюдалась и при наводнениях 1969 и 1976 гг., но со своими особенностями внутримесячного распределения осадков.

Исходя из вышеизложенного материала, была разработана расчетная множественная регрессионная модель зависимости максимального расхода воды на г/п Абаза от ряда предикторов. Для этой модели рассматривалось 12 параметров: суммы осадков за весенние месяцы и отдельно за апрель и май, максимальная высота снежного покрова за сезон и максимальное содержание воды в снежном покрове, суммы твердых осадков за зимний сезон, средние месячные температуры за весенние месяцы и максимальные температуры за каждый весенний месяц. Расчеты производились только для тех лет, в которые регистрировались более чем средние наводнения.

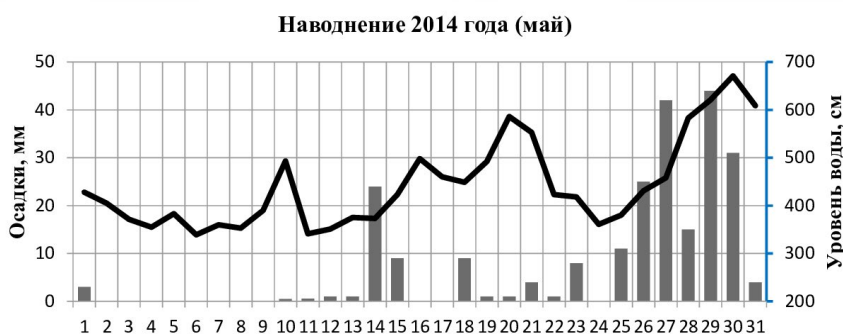


Рис. 4. Соотношение хода осадков на м/с Яйлю и уровней воды на г/п Абаза в мае 2014 г.

Fig. 4. The relationship between precipitation at the Yailyu weather station and the water levels at the Abaza hydrological station in May 2014.



Рис. 5. Соотношение хода осадков на м/с Яйлю и уровней воды на г/п Абаза в мае 2021 г.

Fig. 5. The relationship between the precipitation at the Yailyu weather station and the water levels at the Abaza hydrological station in May 2021.

Всего было задействовано 12 лет, отранжированных по убыванию максимального расхода (2014, 1969, 1941, 1976, 1954, 2003, 1962, 2001, 1966, 2006, 2007, 1984). Наилучший результат на начальный момент расчета (2020 г., без данных за 2021 г.) был получен при использовании 3-предикторов: сумма осадков за май, средняя температура апреля и количество твердых осадков за зимний сезон:

$$Y = 1376.4 + 16.14X_1 + 171.85X_2 + 0.98X_3, \quad (1)$$

где Y — максимальный расход воды в м³/с на г/п Абазы;

X_1 — сумма осадков в мае на м/с Яйлю (фактор паводка);

X_2 — средняя температура в апреле на м/с Яйлю (фактор половодья);

X_3 — сумма твердых осадков за зимний период на м/с Яйлю (фактор половодья).

Статистические характеристики модели:

- уравнение регрессии в целом статистически надежно (проверено F-статистикой по критерию Фишера);
- все коэффициенты регрессии в уравнении статистически значимы (по частным коэффициентам эластичности) за исключением последнего;
- стандартная ошибка предиктанта $S = 522.3$ м³/с;
- средняя ошибка аппроксимации $\delta A = 8.2\%$.

Рассчитанный по представленной модели максимальный расход воды в 2021 г. составил 5060 м³/с при фактическом в 5200 м³/с. Расхождение составило всего 140 м³/с, а после введения в модель фактических данных за 2021 год, ее аналитическое выражение незначительно изменилось с дополнительным улучшением качества:

$$Y = 1419.1 + 16.24X_1 + 171.27X_2 + 0.83X_3. \quad (2)$$

Статистические характеристики модели:

- уравнение регрессии в целом статистически надежно (проверка F-статистикой по критерию Фишера);
- все коэффициенты регрессии в уравнении статистически значимы (по частным коэффициентам эластичности) за исключением последнего;
- стандартная ошибка предиктанта $S = 480.4$ м³/с;
- средняя ошибка аппроксимации $\delta A = 7.3\%$.

Проверка уточненной модели на нескольких предыдущих годах, использованных в исходной модели, также показала удовлетворительный результат со следующими вариациями основного показателя, представленными в таб. 6.

Таблица 6. Разности между наблюдаемыми максимальными расходами воды и рассчитанными по уточненной модели

Table 6. Differences between observed maximum water discharges and those calculated using the revised model

	1969	1941	1976	1954	2003	1962	2001
Макс. расход (м ³ /с) наблюдаемый	6700	4550	4230	4130	4030	3900	3500
Макс. расход (м ³ /с) рассчитанный	6590	4790	4680	3690	3840	4170	3450
Разность в м ³ /с	110	−240	−450	440	190	−270	50
Разность в %	2	−5	−11	11	5	−7	1

Таким образом, уточненную модель можно считать вполне приемлемой для использования в определении предварительных оценок максимального расхода путем введения в уравнение накопительной суммы майских осадков с шагом в одни сутки в конкретный сезон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бассейне реки Абакан наблюдается изменение внутригодовой временной структуры осадков и максимального расхода в сторону совместного статистически значимого увеличения обоих параметров именно весной, в частности, в мае. Наводнения не всегда наблюдаются в многоводный год и, наоборот, крупное наводнение может проявиться и в средневодный год. Наводнения в классах от высоких до катастрофических в большинстве случаев происходят по схеме наложения паводков на половодье. При этом паводки в основном вызываются экстремальными майскими осадками с пентадной (5-суточной) интенсивностью от 60 до 100 мм, что подтверждается и большим весом майских осадков во множественной регрессионной модели расчета максимального расхода воды.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Русского географического общества, проект № 45/2022-И “Климатические аномалии и опасные природные явления в Южной Сибири”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В.А., Лесных В.В., Соколов Ю.И. Риски катастрофических наводнений на территории России в начале XXI века: анализ и управление // Оценка и управление природными рисками. Том 1. М.: Изд-во РУДН, 2013. С. 293–297.
2. Бузин В.А. Опасные гидрологические явления. Учебное пособие. СПб.: РГГМУ, 2008. 228 с.
3. Галахов В.П., Легачева Н.М., Рудыка И.Ю. Оценка осадков половодья с помощью орфографической добавки к скорости вертикальных движений (на примере реки Абакан) // Изв. АО РГО. 2017. № 1 (44). С. 60–66.
4. Государственный доклад “О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2014 г.”. Абакан, 2015. 201 с. URL: <https://minprom19.ru/dokumenty/otchety-i-doklady/> (дата обращения 01.06.2023).
5. Государственный доклад “О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2021 г.”. Абакан, 2022. 211 с.
6. Кичигина Н.В. Наводнения Сибири: географический и статистический анализ за период климатических изменений // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2021. Т. 66. № 1. С. 41–61.
7. Паромов В.В., Шумилова К.А., Гордеев И.Н. Условия формирования половодья большой водности и прогноз наводнения на реке Абакан // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 11. С. 57–67.
8. Федоровский, А.С. Бортин Н.Н., Горчаков А.М., Милаев В.М. Ливневые дожди как фактор наводнений в Приморском крае // Водное хозяйство России. 2019. № 4. С. 144–168.
9. Шиянов В.А. Максимальный сток весеннего половодья реки Абакан и ее притоков: выпускная бакалаврская работа по направлению подготовки: 05.03.04 — Гидрометеология. Томск, 2016. URL: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vital:3048> (дата обращения 10.07.2023)
10. Уровень воды онлайн. URL: <https://allrivers.info/> (дата обращения 15.09.2022).

Extreme Precipitation and Floods in the Abakan River Basin

Yu. N. Kurochkin^{1, *}, K. V. Chistyakov^{1, **}, M. V. Syromyatina^{1, ***}

¹*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

**E-mail: y.kurochkin@spbu.ru*

***E-mail: k.chistyakov@spbu.ru*

****E-mail: m.syromyatina@spbu.ru*

Abstract – The paper provides a statistical analysis of the dynamics of maximum water discharge on the Abakan River and extreme precipitation in the basin of this river in order to identify the main role of the latter in the formation of high and catastrophic floods. The detailed relationships between such floods and extreme precipitation are analyzed using specific examples from 2014 and 2021. Floods in the classes from high to catastrophic mostly occur according to the superimposition of high water on flash floods. The special role of pentad (5-day) maximum precipitation intensity in the occurrence of catastrophic floods has been revealed. Also, a multiple regression model of the dependence of maximum water discharge on three (out of 12) statistically significant climatic predictors, which has quite acceptable reliability and accuracy characteristics, is presented.

Keywords: extreme precipitation, maximum water discharge, catastrophic floods, the Abakan River

REFERENCES

1. Akimov V.A., Lesnyh V.V., Sokolov YU.I. Riski katastroficheskikh navodnenij na territorii Rossii v nachale XXI veka: analiz i upravlenie // Ocenka i upravlenie prirodnymi riskami. Tom 1. M.: Izd-vo RUDN, 2013. S. 293–297.
2. Buzin V.A. Opasnye gidrologicheskie yavleniya. Uchebnoe posobie. SPb.: RGGMU, 2008. 228 s.
3. Galahov V.P., Legacheva N.M., Rudyka I.YU. Ocenka osadkov polovod'ya s pomoshch'yu orograficheskoy dobavki k skorosti vertikal'nyh dvizhenij (na primere reki Abakan) // Izv. AO RGO. 2017. № 1 (44). S. 60–66.
4. Gosudarstvennyj doklad “O sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Hakasiya v 2014 g.” Abakan, 2015. 201 s. URL: [https://minprom19.ru/dokumenty/otchety-i-doklady/\(data obrashcheniya 01.06.2023\)](https://minprom19.ru/dokumenty/otchety-i-doklady/(data obrashcheniya 01.06.2023)).
5. Gosudarstvennyj doklad “O sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Hakasiya v 2021 g.”. Abakan, 2022. 211 s.
6. Kichigina N.V. Navodneniya Sibiri: geograficheskij i statisticheskij analiz za period klimaticeskikh izmenenij // Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle. 2021. T. 66. № 1. S. 41–61.
7. Paromov V.V., Shumilova K.A., Gordeev I.N. Usloviya formirovaniya polovod'ya bol'shoj vodnosti i prognoz navodneniya na reke Abakan // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2016. T. 327. № 11. S. 57–67.
8. Fedorovskij, A. S. Bortin N. N., Gorchakov A. M., Milaev V. M. Livnevye dozhdii kak faktor navodnenij v Primorskom krae // Vodnoe hozyajstvo Rossii. 2019. № 4. S. 144–168.
9. Shiyanov V.A. Maksimal'nyj stok vesennego polovod'ya reki Abakan i ee pritokov: vypusknaya bakalavrskaya rabota po napravleniyu podgotovki: 05.03.04 — Gidrometeorologiya. Tomsk, 2016. URL: [https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vital:3048 \(data obrashcheniya 10.07.2023\)](https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vital:3048 (data obrashcheniya 10.07.2023))
10. Uroven' vody onlajn. URL: [https://allrivers.info/ \(data obrashcheniya 15.09.2022\)](https://allrivers.info/ (data obrashcheniya 15.09.2022)).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Курочкин Юрий Николаевич

Старший преподаватель. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский государственный университет”

e-mail: y.kurochkin@spbu.ru

Kurochkin Yuriy Nikolaevich

Senior Lecturer. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Saint Petersburg State University”

e-mail: y.kurochkin@spbu.ru

Чистяков Кирилл Валентинович

Директор Института наук о Земле, доктор географических наук. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский государственный университет”

e-mail: k.chistyakov@spbu.ru

Chistyakov Kirill Valentinovich

Director of the Institute of Earth Sciences, Doctor of Sciences (Geography). Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Saint Petersburg State University”

e-mail: k.chistyakov@spbu.ru

Сыромятина Маргарита Владимировна

Доцент, кандидат географических наук. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Санкт-Петербургский государственный университет”

e-mail: m.syromyatina@spbu.ru

tel.: +7 921 328-27-25

Syromyatina Margarita Vladimirovna

Associate Professor, Candidate of Sciences (Geography). Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Saint Petersburg State University”

e-mail: m.syromyatina@spbu.ru

tel.: +7 921 328-27-25

УДК 553.7:663.64(571.54)

ГИДРОГЕОХИМИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ УГЛЕКИСЛЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ р. ПОГРОМКИ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2024 г. Л. В. Замана

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия**E-mail: l.v.zamana@mail.ru*

Поступила в редакцию 22.03.2024 г.

После доработки 29.11.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

При обилии проявлений углекислых вод в Забайкалье сведения об их физико-химических характеристиках относятся преимущественно к середине прошлого столетия и в основном ограничиваются данными по макрокомпонентам. Цель исследования — получить современные данные по химическому, микрокомпонентному и изотопному составу, содержанию бальнеологических компонентов в углекислом источнике, по изотопным данным определить природу воды и углекислого газа. Такие данные получены по опробованному в августе 2020 г. углекислому источнику Погроминский в Еравнинском районе Республики Бурятия и расположенной вблизи него впервые опробованной скважины. Вода источника HCO_3Ca , скважины — $\text{HCO}_3\text{Na—Ca}$ типов с содержанием CO_2 соответственно 0.94 и 0.6 г/л и минерализацией 0.79 и 0.65 г/л. По содержанию метакремниевой кислоты H_2SiO_3 (71.3 мг/л) и Fe (34.7 мг/л) вода скважины соответствует кукинскому бальнеологическому типу, она может представлять интерес для организации розлива. Масс-спектрометрическим методом определены концентрации 50 микроэлементов, из которых аномально высоким содержанием в воде источника выделяется уран (83 мкг/л). По изотопным данным вода обоих проявлений имеет инфильтрационный генезис, углекислый газ метаморфогенный с участием биогенного.

Ключевые слова: углекислый источник, химический, микрокомпонентный состав, бальнеологические компоненты, изотопы воды и углерода

DOI: 10.31857/S0869607124040044, **EDN:** MOIVTZ

ВВЕДЕНИЕ

На правобережном водосборе р. Уды со второй половины XVIII века известен углекислый источник Погроминский, получивший свое название по р. Погромке, к долине которой он приурочен. Последние данные по химическому составу его воды относятся к 1954 г. [12] и ограничиваются только сведениями о содержании растворенной углекислоты и основных макрокомпонентов. С 1993 г. вблизи источника в течение 20 лет разрабатывалось Эгитинское флюоритовое месторождение, эксплуатация которого возобновлена в марте 2020 г., что расширило самостоятельный забор углекислой воды.

Цель настоящей статьи — привести недавние, полученные на современном химико-аналитическом уровне данные по химическому, микрокомпонентному и изотопному составу воды как самого источника, так и впервые обнаруженного

вблизи него проявления углекислой воды в виде самоизливающей скважины, что расширяет базу данных по минеральным водам территории и может быть полезно для оценки качества этих проявлений в целях бальнеологии и внекурортного использования воды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Погроминский углекислый источник находится в Еравнинском районе Республики Бурятия в 1.7 км к северу от центра с. Комсомольское (рис. 1, точка УВ-20-2). Ранее указывалось, что источник находится в 3.0 км от села [12]. Современный выход его приурочен к протоке р. Погромки в точке с координатами $52^{\circ}29.929' \text{ с. ш.}$, $111^{\circ}05.306' \text{ в. д.}$ Источник имеет две головки, отстоящие на 5–6 м друг от друга, с расходами на дату опробования (15 июля 2020 г.) по 0.1–0.15 л/с каждая. Самодельный забор воды для питья происходит из западной головки, имеющей вид овального треугольника размером 1.0–1.2 м глубиной до 0.3 м под уступом высотой около 1 м.



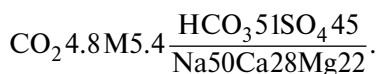
Рис. 1. Местоположение Погроминского источника, аншлаг на нем с информацией о составе воды и показаниях для лечения и фотографии выходов.

Fig. 1. Location of the Pogrominskiy spring, a placard on it with information about the composition of the water and indications for treatment and photos of the outlet.

Газирование слабое, одиночными или короткими сериями пузырьков. Восточная головка находится в узкой слабо врезанной старице, заросла водорослями. Железистых отложений на источнике нет. Территория вокруг источника огорожена штакетником, построена беседка.

В 1772 г. Погроминский источник, обнаруженный за 5 лет до этого местным жителем, посещал П. С. Паллас. Примерно в то же время на источнике был И. Г. Георги. Результаты их химических исследований невозможно перевести в принятые позже и существующие теперь выражения химического состава и представляют, по определению Ин. Багашева [1], лишь исторический интерес. Последний довольно подробно изложил историю изучения источника вплоть до конца XIX в. (с. 102–104) и привел первый пересчитанный им химический состав воды источника по пробе от 1828 г., согласно которому содержание свободного CO_2 в воде было 4.37 г/л при общей минерализации 4.0 г/л (за вычетом CO_2).

На аншлаге у источника указан сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый состав, что по классификации С.А. Шукарева (в название входят ионы с ≥ 25 экв-%) соответствует приведенной в [7] формуле Курлова:



По данным [12] при опробовании в сентябре 1954 г. вода источника имела гидрокарбонатный натриевый по [6] или кальциево-магниевый-натриевый состав (при наименовании от 20 экв-% согласно ОСТ 41-05-263-86 [8]) с содержанием CO_2 980 мг/л. Большую разницу в данных по углекислоте в [12] объяснили тем, что тот выход найден не был, источник периодически исчезает. В определении минерализации (по сумме ионов) в этой работе была допущена ошибка — вместо указанных 1112 мг/л она равнялась 1.51 г/л, что было исправлено в [6]. И это последние опубликованные данные по химическому составу воды Погроминского источника, полученные к тому же по сокращенному анализу, при котором кроме CO_2 напрямую определялись только HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} . По сульфату в таблице [12, с. 108] стоит прочерк, чего, если он определялся, быть не должно. При поиске летом 1957 г. Погроминский источник не обнаружен [11], что дало основание В.М. Степанову предположить, что “источник прекратил существование” (с. 126). Не нашел его и автор настоящей статьи летом 1985 г. В последнее десятилетие, по крайней мере, источник функционировал, возможно, периодически, и был опробован [9, 13 и др.], но данные по химическому и микрокомпонентному составу воды в этих публикациях отсутствуют.

Кроме источника нами опробована также самоизливающая скважина, расположенная в 0.8 км от источника ближе к селу (точка УВ-20-3 на рис. 1), вода которой оказалась углекислой. Координаты ее местоположения $52^\circ 29.206' \text{с. ш.}$, $111^\circ 05.621' \text{в. д.}$ Скважина находится в будке, пробу взяли из отводной трубы. Дебит при самоизливе был 0.3–0.4 л/с. Камни до 4 м по потоку с поверхности ожелезнены. Опубликованных сведений по этой скважине нами не найдено.

По геологической карте м-ба 1 : 200 000 (лист N-49—XXXIV) [14] источник и скважина находятся в контуре распространения эффузивно-осадочных пород удинской свиты среднеюрского возраста, представленных андезитовыми и базальтовыми пор-

фиритами, андезитами, базальтами, кислыми эффузивами и их туфами, туфогенно-осадочными породами и алевритами. Распространенные в районе породы кайнозойского возраста являются терригенно-осадочными, вулканогенные образования кайнозоя отсутствуют.

При отборе проб на месте измерялись температура воды, pH, Eh, электропроводность. Воду отбирали в новые пластиковые бутылки объемом 1.5 л, в отдельные пластиковые (pet) контейнеры брали пробы на изотопы воды и с подкислением азотной кислотой марки “ч.д.а.” до pH < 2 — на катионы, в пробирки под давлением через фильтры 0.45 мкм — на микроэлементы. Осадок для определения изотопного состава углерода и кислорода гидрокарбонатов получали высаживанием CaCl_2 . На полный химический состав водные пробы проанализированы в аттестованной лаборатории ИПРЭК СО РАН по общепринятым нормативным методикам. Микроэлементы определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS) в Институте геохимии СО РАН (г. Иркутск), изотопные анализы выполнены в Геологическом институте СО РАН (г. Улан-Удэ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По приведенным в табл. 1 данным вода источника гидрокарбонатная кальциевая, скважины — гидрокарбонатная натриево-кальциевая с формулами состава соответственно

$$\frac{\text{HCO}_3 95.3 \text{SO}_4 2.5 \text{Cl} 2.0}{\text{Ca} 73.7 \text{Na} 14.4 \text{Mg} 11.9} \text{ и } \frac{\text{HCO}_3 97.4 \text{Cl} 13.0 \text{SO}_4 1.0.5}{\text{Ca} 58.7 \text{Na} 28.2 \text{Mg} 13.3}.$$

По сравнению с данными предшественников катионный состав источника изменился до кальциевого, минерализация и содержание CO_2 снизились до менее 1.0 г/л. Чисто кальциевый тип воды в ГОСТ Р 54316-2011 не представлен, но ранее установлен в ряде углекислых источников Восточного Забайкалья [4]. Вода скважины по содержанию метакремниевой кислоты и железа соответствует кукинскому бальнеологическому типу (более 50 и 10 мг/л соответственно), но содержание CO_2 и общая минерализация ниже требуемых для этого типа 2500–3300 мг/л и 2.0–3.2 г/л [3].

В составе микроэлементов (табл. 2) по обеим пробам наиболее высокими концентрациями, превышающими допустимые для вод хозяйственно-питьевого назначения (30 мкг/л по [10]), выделяется литий, но это характерно практически для всех углекислых вод. В распределении редких щелочей наблюдается общая закономерность $\text{Li} > \text{Rb} > \text{Cs}$. Очень низким содержанием отличаются бор и бром. В воде источника повышена концентрация молибдена, что определяется, по-видимому, геохимическими особенностями вмещающих пород.

Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) по обеим водным пробам в основном подчиняется правилу Оддо–Гаркинса для земной коры, согласно которому содержание элементов с четными атомными номерами по таблице Д. И. Менделеева больше, чем обоих соседних нечетных номеров. Исключение составляют церий (атомный номер 58), содержание которого меньше, чем лантана (атомный номер 57), тогда как по среднему содержанию в земной коре (0.007 и 0.0029% по А. П. Виноградову [2]) эти элементы данному правилу соответствуют, и европий (атомный номер 63). Последний выделяется максимальным содержанием в обеих пробах, при этом он единственный элемент из редких земель с более высоким содержанием

Таблица 1. Физико-химические показатели углекислых вод в бассейне р. Погромки (CO_2 — Sr в мг/л)

Table 1. Physicochemical indicators of carbon dioxide waters in the river Pogromka basin (CO_2 — Sr in mg/l)

Показатель	Пробы		Показатель	Пробы		Показатель	Пробы	
	1	2		1	2		1	2
T, °C	2.2	3.3	SO_4^{2-}	9.45	3.52	K^+	2.18	4.17
pH*	6.18	6.75	Cl^-	5.50	3.30	NH_4^+	<0.1	0.34
pH	6.39	6.92	F^-	0.34	0.48	*M	789	646
Eh, мВ	238	−13	NO_3^-	0.67	0.39	Si	11.9	25.6
ЭП, $\mu\text{См/см}$	580	480	NO_2^-	<0.003	<0.003	$\text{P}_{\text{об}}$	0.070	0.050
ПО, мгО/л	1.96	3.45	Ca^{2+}	238.8	121.4	Fe	0.06	34.7
CO_2 , мг/л	938	596	Mg^{2+}	23.1	16.3	Mn	0.03	0.32
HCO_3^-	457.3	433.4	Na^+	53.8	67.0	*Sr	0.508	0.729

Примечания. Пробы: 1 — Погроминский источник, 2 — скважина; ЭП — электропроводность; ПО — окисляемость перманганатная; pH* — полевые определения; *M — минерализация по сумме ионов; *Sr — по данным анализа ICP-MS.

Таблица 2. Содержание микроэлементов (мкг/л) в углекислых водах Погроминского источника (проба 1) и скважины (проба 2)

Table 2. Content of trace elements ($\mu\text{g/l}$) in carbon dioxide waters of Pogrominskiy spring (sample 1) and borehole (sample 2)

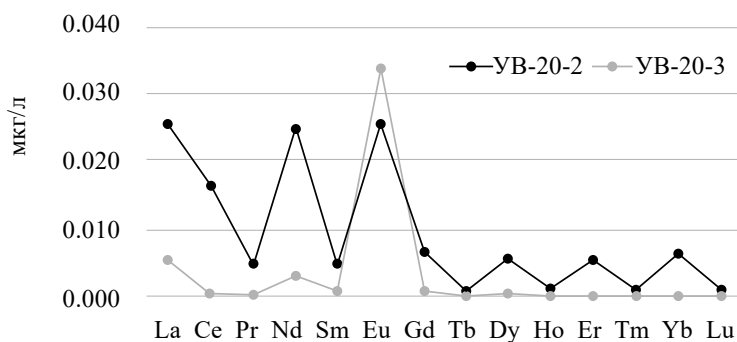
Элемент	Пробы		Элемент	Пробы		Элемент	Пробы	
	1	2		1	2		1	2
Li	233	82	Rb	2.78	6.53	Gd	0.0066	0.0008
Be	0.059	0.0015	Y	0.0089	1.99	Tb	0.0009	0.0001
B	27	20	Zr	0.0076	1.24	Dy	0.0056	0.0004
Al	9.0	0.88	Nb	0.0002	0.032	Ho	0.0014	0.00004
Sc	0.019	0.023	Mo	5.12	0.33	Er	0.0054	0.0001
Ti	0.21	0.064	Ag	0.0007	0.18	Tm	0.0008	0.00002
V	0.21	0.0033	Cd	0.091	0.34	Yb	0.0063	0.0001
Cr	0.034	0.010	Sn	0.0056	0.025	Lu	0.0011	0.00001
Co	0.099	0.039	Sb	0.073	0.14	Hf	0.0013	0.0003
Ni	1.46	1.12	Cs	0.075	0.12	Ta	0.0008	0.00006
Cu	0.82	0.30	Ba	95	23	W	0.023	0.015
Zn	14.1	3.84	La	0.0254	0.0054	Re	0.0014	0.00031
Ga	0.0028	0.023	Ce	0.0164	0.0006	Tl	0.0007	0.0006
Ge	0.020	0.10	Pr	0.0048	0.0002	Pb	0.0041	<0.003
As	0.28	0.11	Nd	0.0246	0.0030	Th	0.0007	0.00001
Se	1.29	2.66	Sm	0.0049	0.0007	U	83	0.090
Br	64	94	Eu	0.0255	0.0336	—	—	—

по скважине, чем по источнику, что наглядно представлено на рис. 2а. Аномалии в распределении церия и европия вызваны, по-видимому, различным содержанием их в водовмещающих породах.

Заметно различаются распределения нормированных по североамериканскому сланцу значений по тяжелым РЗЭ, по источнику от тербия они растут, по скважине, напротив, падают (рис. 2б). Возможная причина отрицательного тренда по скважине — сорбция элементов гидроксидами железа, которые, как показано выше, отлагаются на камнях. Это же может происходить и в породах в приповерхностной зоне.

Кроме европия более высокое содержание в воде скважины имеют Sc, Ga, Ge, Se, Br, Rb, Y, Zr, Nb, Ag, Cd, Sn, Sb и Cs, а из макрокомпонентов — натрия и калий. В числе перечисленных представлены литофильные и халькофильные элементы, что может быть связано как с геохимическими особенностями взаимодействующих

(А)



(Б)

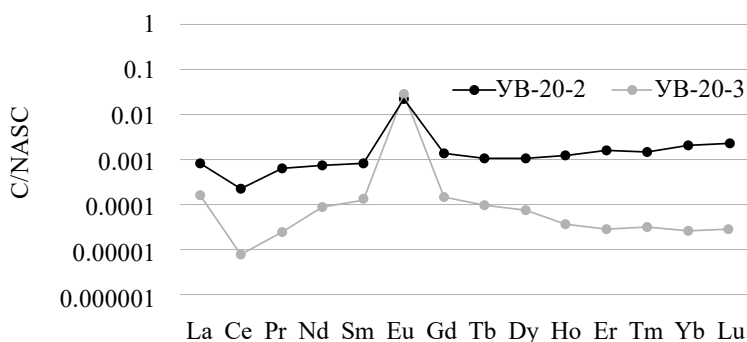


Рис. 2. Распределение весовых (а) и нормированных по североамериканскому сланцу (NASC) [15] (б) концентраций РЗЭ в воде источника (УВ-20-2) и скважины (УВ-20-3).

Fig. 2. Distribution of weight (a) and North American shale normalized (NASC) [15] (б) REE concentrations in spring (УВ-20-2) and borehole water (УВ-20-3).

с углекислыми водами горных пород, так и с влиянием окислительно-восстановительных условий на миграционную подвижность элементов. Обратим внимание на антибатное поведение цинка и кадмия, концентрации которых в воде обычно изменяются согласованно ввиду единого, как правило, их источника — кадмий в основном содержится в сфалерите ZnS . Здесь кадмий имеет, по-видимому, другой источник.

Особенно различаются воды по содержанию урана — по источнику его почти на три математических порядка больше. Вода источника относится к урановым, концентрация U превышает предельно допустимую для питьевых вод норму (15 мкг/л по [10, табл. 3.13, № 1192]). Причина очень низкого содержания U по скважине в первую очередь заключается в восстановительных условиях среды, при которых он переходит в малоподвижную четырехвалентную форму. Возможно и более низкое содержание урана в пройденных скважиной породах по сравнению с местом выхода источника, где породы, судя по содержанию в воде, явно должны быть обогащены ураном. На это указывают и полученные нами концентрации U (5.3–10.0 мкг/л) в подотвальных водах разрабатываемого Эгитинского флюоритового месторождения, расположенного вблизи источника на правом склоне долины притока р. Погромки (рис. 1, точки с индексом ЭГ).

Для суждения о генезисе углекислых вод рассматриваемых проявлений приведем данные по изотопному составу их воды и растворенных гидрокарбонатов.

По нашим данным изотопные отношения воды источника равны по кислороду $\delta^{18}O$ –12.7 и по водороду δ^2H –99.0‰, скважины –12.6 и –97.0‰. Изотопные характеристики гидрокарбонатов по $\delta^{13}C_{PDB}$ –2.9 по источнику и –3.2‰ по скважине, кислорода соответственно 13.2 и 18.5‰ по SMOW. Приведенный в [5] изотопный состав воды источника полностью совпадает с нашими данными, тогда как по углероду сильно расходится — $\delta^{13}C_{PDB}$ равно 5.8‰, хотя опробование выполнено с временным разрывом всего около одного месяца. В свободном углекислом газе источника $\delta^{13}C$ равно –6.7‰ [9]. Поскольку предполагать участие вулканогенной составляющей по геологическим условиям места локализации рассмотренных проявлений углекислых вод нет оснований, углекислый газ метаморфогенный с участием био-

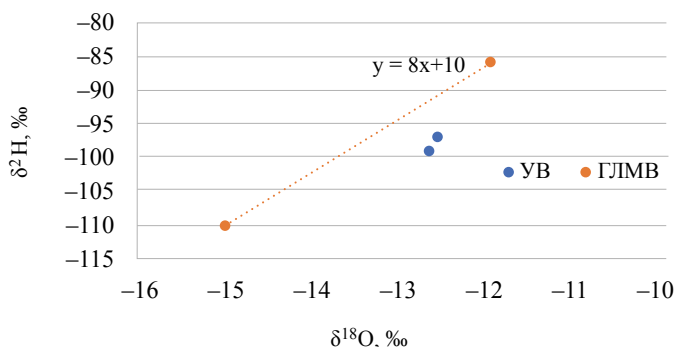


Рис. 3. Положение точек изотопного состава углекислых вод по отношению к Глобальной линии метеорных вод (ГЛМВ).

Fig. 3. The position of carbonaceous water isotopic composition points in relation to the Global Meteoric Water Line (GMWL).

генного, хотя значение $\delta^{13}\text{C}$ попадает в интервал мантийного углерода ($-4\ldots-8\text{‰}$). Точки изотопного состава воды на графике $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ ложатся недалеко от Глобальной линии метеорных вод Крейга (рис. 3), что свидетельствует о ее инфильтрационном генезисе. Более легкий изотопный состав по кислороду по отношению к ГЛМВ вызван фракционированием в системе вода–гидрокарбонат.

В газовом составе воды источника при опробовании в августе 2020 г. содержание CO_2 составило (в %) 50.0, азота — 49.1, аргона — 0.73 и метана — 0.004 [5]. Здесь необходимо обратить внимание на то, что в случае анализа состава газового “пузыря”, образующегося при хранении проб, получают завышенное содержание азота вследствие большего перехода его из растворенного состояния в газовую фазу по сравнению с углекислым газом из-за худшей растворимости N_2 в воде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные показали изменение химического состава воды Погроминского источника по сравнению с имевшимися почти 70-летней давности, выразившееся в переходе к монокатионному кальциевому типу, и снижение ее общей минерализации. Из представленных впервые результатов по широкому кругу микроэлементов источник отличается низкими для углекислых вод концентрациями некоторых типичных для них элементов (бор, бром и др.), повышенным содержанием молибдена и аномальным уровнем урана. Вода пробуренной в 0.8 км от Погроминского источника скважины оказалась углекислой, по содержанию кремнекислоты и железа соответствующей кукинскому бальнеологическому типу. Положение практически на региональной автодороге Улан-Удэ — Романовка рядом с населенным пунктом и горнорудным предприятием создает возможность организации розлива воды скважины для внекурортного использования как лечебно-столовой.

Подготовлено по результатам госбюджетных исследований ИПРЭК СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багашев Ин. А. Минеральные источники Забайкалья. Издание М. Д. Бутина. Приложение к Запискам Читинского отделения Приамурского отдела Императорского Русского Географического Общества. М.: Товарищество типографии А. И. Мамонтова, 1905. 159 с.
2. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
3. ГОСТ Р 54316-2011. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 41 с.
4. Замана Л. В. Химические типы углекислых вод Восточного Забайкалья // Курортная база и лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов. 2017. № 3. С. 138–142.
5. Лаврушин В. Ю., Челноков Г. А., Брагин И. В., Айдаркожина А. С. Изотопно-геохимические особенности ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$) азотных и углекислых вод Забайкалья // В сб.: ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОСФЕРА. Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России с международным участием. Иркутск, 2021. С. 179–183. <https://doi.org/10.52619/978-5-9908560-9-7-2021-23-1-161-165>
6. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Т. 1. Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение / Под ред. В. Г. Ткачук и Н. И. Толстихина. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 346 с.

7. Минеральные источники и грязевые озера Восточной Сибири, их гидрогеология, бальнеохимия и курортологическое значение: материалы по геологии и полезным ископаемым Восточной Сибири. Вып.21 / Министерство геологии СССР, Сибирское геологическое управление; ред.: М. П. Михайлов, Н. И. Толстихин. Иркутск, 1946. 86 с.

8. ОСТ 41-05-263-86. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. 1986. 9 с.

9. Плюснин А. М. Геологические условия формирования углекислых вод Витимского плоскогорья // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Сборник материалов четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. Геологический институт СО РАН. Улан-Удэ, 2020. С. 46–48.

<https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-46-48>

10. СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания” // https://dou.su/files/docs/SP123685_21 (дата обращения 10.12.2023).

11. Степанов В. М. Минеральные воды Северо-Западного Забайкалья // Минеральные воды Восточной Сибири. М.: Изд-во АН СССР. 1963. С. 119–133.

12. Ткачук В. Г., Яснитская Н. В., Анкудинова Г. А. Минеральные воды Бурят-Монгольской АССР. Иркутск, 1957. 153 с.

13. Украинцев А. В., Плюснин А. М. Алифатические углеводороды углекислых минеральных и азотных термальных вод Западного Забайкалья // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Сборник материалов четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием. Геологический институт СО РАН. Улан-Удэ, 2020. С. 179–183. <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-179-183>

14. <https://geolokarta.ru> (дата обращения 20.12.2023 г.).

15. Gromet L. P., Dumeck R. F., Haskin L. A., Korotev R. L. The “North American shale composite”: its composition, major and trace element characteristics // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1984. V. 48. P. 2469–2482.

Hydrogeochemistry of Carbonic Acid Water Manifestations in the Pogromka River Basin (Western Transbaikalia)

L. V. Zamana

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia
E-mail: l.v.zamana@mail.ru*

Abstract – Given the abundance of manifestations of carbonic acid water in Transbaikalia, the information on their physical and chemical characteristics dates mainly to the middle of the last century and is mainly limited to data on macrocomponents. The aim of the study is to obtain modern data on chemical, microcomponent and isotopic composition, content of balneological components in carbonic acid spring, to determine the nature of water and carbon dioxide by isotopic data. Such data were obtained for the carbon dioxide spring Pogrominsky in the Yeravninsky district of the Republic of Buryatia and the first tested borehole located near it in August 2020. The spring water is HCO_3 Ca, the borehole — HCO_3 Na-Ca types with CO_2 content respectively 0.94 and 0.6 g/l and mineralization 0.79 and 0.65 g/l. According to the content of meta-silicic acid H_2SiO_3 (71.3 mg/l) and Fe (34.7 mg/l) the water of the borehole corresponds to the Kuka balneological type, it can be of interest for the organization of bottling.

Mass-spectrometric method determined concentrations of 50 trace elements, of which uranium (83 µg/l) is found to be anomalously high in the spring water. According to isotopic data, water of both manifestations has infiltration genesis, carbon dioxide gas is metamorphogenic with the participation of biogenic.

Keywords: carbonic acid spring, chemical, microcomponent composition, balneological components, water and carbon isotopes

REFERENCES

1. Bagashev In. A. Mineral'nyye istochniki Zabaykal'ya. Izdaniye M. D. Butina. Prilozheniye k Zapiskam Chitinskogo otdeleniya Priamurskogo otdela Imp. Rus. Geogr. Obshch. M.: Tovarishestvo tipografii A. I. Mamontova, 1905. 159 s.
2. Vinogradov A. P. Sredneye sodержaniye khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh gornykh porod zemnoy kory // Geokhimiya. 1962. № 7. S. 555–571.
3. GOST R54316-2011. Vody mineral'nyye prirodnyye pit'yevyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya. M.: Standartinform; 2011. 41 s.
4. Zamana L. V. Khimicheskiye tipy uglekislykh vod Vostochnogo Zabaykal'ya // Kurortnaya baza i prirodnyye lechebno-ozdorovitel'nyye mestnosti Tuvy i sopredel'nykh regionov. 2017. № 3. S. 138–142.
5. Lavrushin V. Yu., Chelnokov G. A., Bragin I. V., Aydarkozhina A. S. Izotopno-geokhimicheskiye osobennosti ($d^{13}C$, $d^{15}N$, $d^{18}O$ i d^2H) azotnykh i uglekislykh vod Zabaykal'ya // V sb.: POD-ZEMNAYA GIDROSFERA. Materialy XXIII Vserossiyskogo soveshchaniya po podzemnym vodam vostoka Rossii s mezhdunarodnym uchastiyem. Irkutsk, 2021. S. 179–183.
6. Mineral'nyye vody yuzhnoy chasti Vostochnoy Sibiri. T. 1. Gidrogeologiya mineral'nykh vod i ikh narodnokhozyaystvennoye znachenie / Pod red. V. G. Tkachuk i N. I. Tolstikhina. M.–L.: Izd-vo AN SSSR; 1961. 346 s.
7. Mineral'nyye istochniki i gryazevyeye ozera Vostochnoy Sibiri, ikh gidrogeologiya, bal'neokhimiya i kurortologicheskoye znachenie: materialy po geologii i poleznym iskopayemym Vostochnoy Sibiri. Vyp. 21 / Ministerstvo geologii SSSR, Sibirskoye geologicheskoye upravleniye; red.: M. P. Mikhaylov, N. I. Tolstikhin. Irkutsk, 1946. 86 s.
8. OST 41-05-263-86. Vody podzemnyye. Klassifikatsiya po khimicheskomu sostavu i temperature. 1986. 9 s.
9. Plusnin A. M. Geological conditions of carbonic acid water formation in Vitim Plateau // Geological evolution of water interaction with rocks. Proceedings of the Fourth All–Russian Scientific Conference with International Participation. Geological Institute SB RAS. Ulan-Ude, 2020. C. 46–48. <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0584-1-2020-46-48>
10. SanPiN 1.2.3685–21 “Gigiyenicheskiye normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya” // https://dou.su-files/docs/SP123685_21 (data obrashcheniya 10.12.2023).
11. Stepanov V. M. Mineral'nyye vody Severo–Zapadnogo Zabaykal'ya // Mineral'nyye vody Vostochnoy Sibiri. M.: Izd-vo AN SSSR. 1963. S. 119–133.
12. Tkachuk V. G., Yasnitskaya N. V., Ankudinova G. A. Mineral'nyye vody Buryat–Mongol'skoy ASSR. Irkutsk, 1957. 153 s.
13. Ukraintsev A. V., Plusnin A. M. Alifaticheskiye uglevodorody uglekislykh mineral'nykh i azotnykh termal'nykh vod Zapadnogo Zabaykal'ya // Geologicheskaya evolyutsiya vzaimodeystviya vody s gornymi porodami. Sbornik materialov chetvertoy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Geologicheskii institut SO RAN. Ulan-Ude, 2020. S. 179–183.

14. [https://: Geolokarta.ru](https://geolokarta.ru) (accesses date 20.12.2023).

15. Gromet L. P., Dumek R. F., Haskin L. A., Korotev R. L. The “North American shale composite”: its composition, major and trace element characteristics // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1984. V. 48. P. 2469-2482.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Замана Леонид Васильевич

Канд. геол.-мин. наук. Ведущий научный сотрудник лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (ИПРЭК СО РАН)

e-mail: l.v.zamana@mail.ru

Почтовый адрес: 672002 г. Чита, ул. Недорезова, д. 16а, а/я 1032

тел.: раб. 8 (3022) 20-61-67, моб. +7 914 508-97-72

Zamana Leonid Vasilievich

Candidate of Geology and Mineralogical Sciences. Leading researcher of the laboratory of geoecology and hydrogeochemistry of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (INREC SB RAS).

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

Postal address: 672002 Chita, Nedorezova str. 16a, P. O. Box 1032

Working phone: 8 (3022) 20-61-67, mob. +7 914 508-97-72.

УДК 556.53:556.55(282.247.211)

СОВРЕМЕННАЯ РЕЧНАЯ БИОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО

© 2024 г. Н. Е. Галахина*, А. В. Сабылина**, М. Б. Зобков***

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ “Карельский научный центр РАН”,
Петрозаводск, Россия*

* E-mail: kulakovanata@mail.ru

** E-mail: efremova.nwpi@mail.ru

*** E-mail: ya-mikhailz@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.03.2024 г.

После доработки 25.11.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

Оценен речной биогенный сток в Онежское озеро в 2015–2016 гг. ($P_{\text{общ}}$ — 640 т/год, $N_{\text{общ}}$ — 10380 т/год), а также рассчитаны объемы выноса биогенных элементов с водами р. Свирь ($P_{\text{общ}}$ — 290 т/год, $N_{\text{общ}}$ — 9795 т/год). Основной вклад в речную биогенную нагрузку вносят органические формы азота (83% от $N_{\text{общ}}$) и фосфора (73% от $P_{\text{общ}}$). На крупнейшие притоки озера (реки Водла, Шуя, Андома и Кондопожский канал) приходится по 60% от общего стока $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$. Вынос большинства форм биогенных элементов из озера с водами р. Свирь меньше по сравнению с речным их притоком в озеро. При сравнении с результатами исследования тех же рек, проведенного в 2007–2008 гг., значимых изменений в поступлении БЭ в Онежское озеро как с речным стоком в целом, так и с крупнейшими его притоками, не выявлено. Выполнено сравнение удельного выноса БЭ с водосборных территорий крупнейших озер России (Байкал, Ладожское и Онежское озера), отличающихся площадями водосборных территорий и уровнем антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: притоки, водный сток, биогенные элементы, антропогенное влияние, удельный вынос

DOI: 10.31857/S0869607124040052, EDN: MOEXED

ВВЕДЕНИЕ

Онежское озеро — один из крупнейших пресноводных водоемов России и Европы (площадь — 9720 км², объем — 295 км³, средняя и максимальная глубины — 30 и 120 м соответственно, период водообмена — 15.6 года) [13]. Площадь его водосборной территории превышает площадь самого озера в 5.5 раз и составляет 53.1 тыс. км² [7]. Главная роль в формировании химического состава воды Онежского озера принадлежит речному стоку. Притоки являются важным источником поступления в водоем биогенных элементов (БЭ) (72% от общего стока $P_{\text{общ}}$ и 68% от общего стока $N_{\text{общ}}$) [11], а также Fe, Mn, Cu и Zn (83–97% от общего стока по каждому компоненту отдельно) [12].

Значительная речная биогенная нагрузка на Онежское озеро является одним из основных факторов, обуславливающих биопродукционный потенциал водоема и определяющих его трофический статус. Вместе с тем изменение биогенной нагрузки от водосборной территории озера и его прибрежной части отражается на состо-

янии водоема. Реки Шуя и Суна существенно влияют на химический состав воды крупнейших заливов Онежского озера (Петрозаводская и Кондопожская губы), в которые они впадают [29]. С 2005 г. происходит интенсивное развитие форелеводства [6] как на акватории самого озера, так и в его бассейне (главным образом на водосборах рек Шуя и Суна) [8]. Форелевые хозяйства являются источником поступления в водоем БЭ и, как следствие, причиной изменения их трофического статуса [33]. Кроме того, по данным [11] очистные сооружения в некоторых населенных пунктах, находящихся в бассейне Онежского озера, работают неэффективно, и неочищенные сточные воды поступают в водные объекты, являясь дополнительным источником биогенных элементов. Известно, что в 2000-х гг. произошло снижение речной биогенной нагрузки на озеро [23] по сравнению с 1965–1966 гг. и 1986–1987 гг. [15, 24] вследствие уменьшения антропогенного воздействия на водосборные территории рек в результате экономического спада 1990-х гг. Однако в 2007–2008 гг. речной вынос $P_{\text{общ}}$ в озеро увеличился в 1.5 раза, $N_{\text{общ}}$ — в 1.1 раза [11] по сравнению с 2001–2002 гг. [20].

Цель данного исследования — оценить речную биогенную нагрузку на Онежское озеро в современный период и проследить ее изменение с начала 2000-х годов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Онежское озеро впадают 1152 реки со среднемноголетним водным стоком $17.3 \text{ км}^3/\text{год}$ [2]. Вытекает из озера одна река — Свирь, являющаяся крупнейшим притоком Ладожского озера. Более половины бассейна озера занято водосборами главных его притоков — рек Водла, Шуя, Суна и Андома, их вклад составляет около 60% от общего речного стока в озеро [20]. Вследствие неоднородности геологического и геоморфологического строения бассейна Онежского озера особенности его гидрографии являются причиной различий в химическом составе и режиме вод притоков. Бассейн Онежского озера расположен на двух крупных резко отличающихся геологических формированиях: северная часть сложена кристаллическими породами Балтийского щита, южная часть находится на Русской платформе [7, 20]. Притоки северной части бассейна молодые с неразработанными порожистыми руслами и большими уклонами, сток большинства этих рек характеризуется высокой степенью естественного регулирования озерами [20]. Южные притоки более старые с хорошо выработанными руслами, отличаются меньшей озерностью и большей заболоченностью территории. Природная концентрация большинства химических компонентов в южных притоках в 2–3 раза выше, чем в водах северной части бассейна [20, 21].

Гидрохимические наблюдения были выполнены летом и осенью 2015 г., а также зимой и весной 2016 г. на 24 притоках Онежского озера (рис. 1) и в его истоке, р. Свирь. Пробы воды отбирали один раз в гидрологический сезон (весна (апрель–июнь), лето (июль–сентябрь), осень (октябрь–декабрь), зима (январь–март)). В воде по стандартным методикам [1] анализировали содержание аммонийного ($N-NH_4$), нитритного ($N-NO_2$), нитратного ($N-NO_3$) и общего азота ($N_{\text{общ}}$), минерального и общего фосфора ($P_{\text{мин}}$ и $P_{\text{общ}}$ соответственно). Формы азота и фосфора определяли спектрофотометрическим методом (табл. 1), концентрацию органического азота ($N_{\text{орг}}$) рассчитывали по разнице общего его содержания и минеральных форм. Химические анализы были выполнены в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии

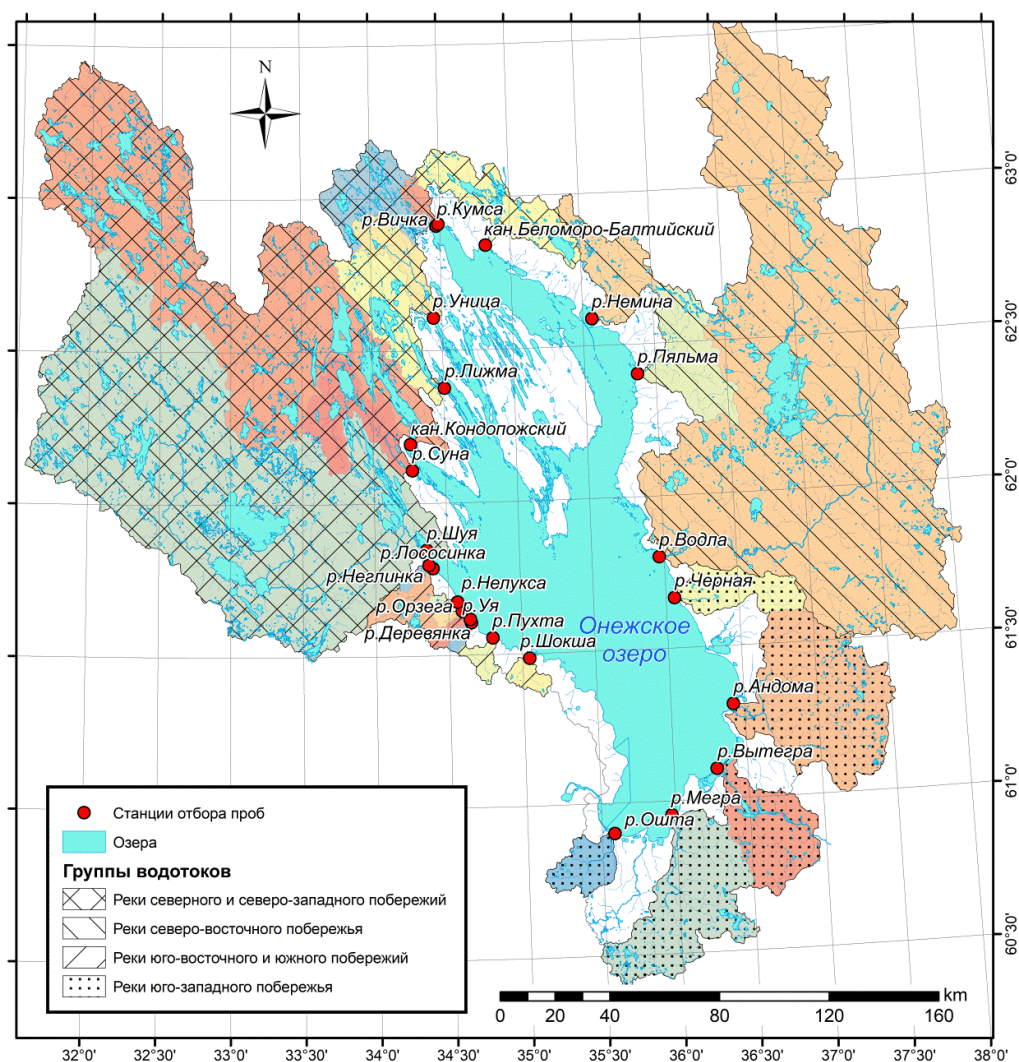


Рис. 1. Карта-схема исследованных притоков Онежского озера и их водосборных территорий (заливкой различных цветов показаны частные водосборы рек).

Fig. 1. Schematic map of the research tributaries of Lake Onego and their catchment areas (color filing identifies specific watersheds of the studied rivers).

Таблица 1. Методы определения химических показателей воды**Table 1.** Methods of water chemical parameters determination

Показатель	Метод определения
NH_4^+	Фотометрическое определение с гипохлоритом и фенолом, $\lambda = 630$ нм
NO_2^-	Фотометрическое определение с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)-этилен-диамином, $\lambda = 543$ нм
NO_3^-	Восстановление до NO_2^- на Cd редуторе и определение NO_2^-
$\text{N}_{\text{общ}}$	Окисление $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ в щелочной среде под давлением и определение NO_3^-
$\text{P}_{\text{мин}}$	Фотометрическое определение фосфатов с молибдатом аммония и аскорбиновой кислотой, $\lambda = 882$ нм
$\text{P}_{\text{общ}}$	Окисление $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ в кислой среде и определение фосфатов

ИВПС КарНЦ РАН, качество их выполнения подтверждено хорошей сходимостью данных в рамках международного лабораторного сличения ICP Waters [30].

Гидрохимическая характеристика притоков Онежского озера дана по группам в соответствии с таковой в работе [20]:

- 1) реки северного и северо-западного побережий (Шуя, Суна (оба русла), Кумса, Вичка, Лижма, Уница, ББК);
- 2) реки северо-восточного побережья (Пяльма, Немина, Водла);
- 3) реки юго-восточного и южного побережий (Черная, Андома, Вытегра, Мегра, Ошта);
- 4) реки юго-западного побережья (Шокша, Пухта, Уя, Деревянка, Орзег, Нелукса, Лососинка и Неглинка).

В расчетах речной биогенной нагрузки использовали данные водного стока рек, определенные по модулю годового стока из [11, 14], а внутригодовое распределение стока основных притоков Онежского озера принято по [14]. Среднемноголетний годовой речной сток для обследованных притоков составляет 14.58 км^3 , или 84% от общего речного стока в озеро ($17.3 \text{ км}^3/\text{год}$). Расчет речного биогенного стока в озеро проводился с учетом последнего объема в предположении, что средневзвешенный состав воды необследованных притоков такой же, как и обследованных. Расчет речной биогенной нагрузки на Онежское озеро проводился в несколько этапов. На первом определяли средневзвешенную по объему годовую концентрацию БЭ в каждом притоке, для этого учитывалась доля их стока в каждый сезон. На втором этапе с использованием значений среднегодового стока для каждой из рек рассчитывалась средневзвешенная по объему концентрация БЭ во всех притоках. Для этих целей использовали годовое распределение водного стока по всем обследованным притокам и среднегодовые концентрации веществ в них. Сезонный биогенный сток определяли на основе среднесезонного содержания БЭ в каждом притоке озера и с учетом доли их стока в каждый из гидрологических сезонов.

Статистическая обработка полученных результатов была выполнена при помощи программного обеспечения Sofa Statistics (www.sofastatistics.com). В статистических тестах использовался уровень статистической значимости $p = 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание биогенных элементов в воде притоков Онежского озера

Содержание БЭ в воде притоков Онежского озера в 2015–2016 гг. изменялось в широких пределах (табл. 2), что обусловлено как сезонной их вариабельностью, так и спецификой геохимических и гидрологических условий северной и южной частей его бассейна [20]. Концентрация $P_{\text{мин}}$ в речной воде изменялась от <1 до 257 мкг/л, $P_{\text{общ}}$ — от 10 до 319 мкг/л (табл. 2). Доля $P_{\text{мин}}$ в среднем составила 29% от $P_{\text{общ}}$, в ряде случаев отмечалось его преобладание, связанное либо с антропогенным влиянием на водотоки (реки Неглинка и Лососинка) [22], либо с обогащением минеральными его формами за счет подземного стока в зимний период (реки Черная, Вытегра, Немина, Вичка) [24]. Распределение в речной воде форм азота выглядело следующим образом: в большинстве случаев преобладали органические его соединения, за исключением р. Неглинки в период открытой воды, а также рек Вичка, Деревянка и Нелукса зимой. Среди минеральных форм азота в большинстве притоков Онежского озера в период открытой воды преобладал азот аммонийный, нитраты преобладали в них только зимой за счет увеличения в это время доли грунтового питания [24]. Исключение составили реки Лососинка, Нелукса, Деревянка, Неглинка, Шуя, Кондопожский канал, Кумса, Вичка и Ошта, в которых нитраты преобладали на протяжении всего периода исследований. Повышенное содержание нитритов наблюдалось в воде р. Неглинки (до 0.099 мг N/л), испытывающей антропогенное влияние [22], в других притоках оно изменялось от <0.001 до 0.007 мг N/л.

Минимальная концентрация БЭ характерна для рек северного и северо-западного побережий (табл. 2), что обусловлено составом коренных пород и четвертичных отложений, а также особенностями рельефа местности и гидрографии в этой

Таблица 2. Содержание форм биогенных элементов в воде притоков Онежского озера и в его истоке в 2015–2016 гг. (числитель — среднее значение, знаменатель — пределы колебаний)

Table 2. Content of nutrient forms in the water of the tributaries of Lake Onego and in its outflow in 2015–2016 (in the numerator — mean values, in the denominator — variation ranges)

	$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{общ}}$	$N-NH_4$	$N-NO_2$	$N-NO_3$	$N_{\text{орг}}$	$N_{\text{общ}}$
	мкг/л		мг N/л				
Реки северного и северо-западного побережий	$\frac{4}{<1-16}$	$\frac{21}{10-46}$	$\frac{0.04}{0.02-0.10}$	$\frac{0.001}{<0.001-0.002}$	$\frac{0.06}{<0.01-0.39}$	$\frac{0.41}{0.22-0.87}$	$\frac{0.51}{0.24-0.92}$
Реки северо-восточного побережья	$\frac{17}{6-41}$	$\frac{48}{31-75}$	$\frac{0.05}{0.03-0.07}$	$\frac{0.001}{<0.001-0.002}$	$\frac{0.06}{0.01-0.17}$	$\frac{0.50}{0.37-0.61}$	$\frac{0.61}{0.46-0.75}$
Реки юго-восточного и южного побережий	$\frac{22}{4-72}$	$\frac{59}{26-132}$	$\frac{0.05}{0.02-0.10}$	$\frac{0.001}{<0.001-0.005}$	$\frac{0.07}{<0.01-0.20}$	$\frac{0.61}{0.20-1.22}$	$\frac{0.74}{0.31-1.44}$
Реки юго-западного побережья	$\frac{41}{1-257}$	$\frac{82}{13-319}$	$\frac{0.08}{0.02-0.31}$	$\frac{0.007}{<0.001-0.099}$	$\frac{0.34}{<0.01-2.93}$	$\frac{0.76}{0.33-1.97}$	$\frac{1.19}{0.39-4.96}$
Река Свирь	$\frac{4}{1-7}$	$\frac{15}{11-23}$	$\frac{0.04}{0.03-0.05}$	<0.001	$\frac{0.12}{0.10-0.17}$	$\frac{0.37}{0.22-0.47}$	$\frac{0.53}{0.36-0.61}$

части бассейна [20; 24]. Максимальное содержание БЭ наблюдалось в реках юго-западного побережья (табл. 1), которые, в отличие от северных и северо-западных притоков, характеризуются небольшими площадями водосборов, малой озерностью и слабой зарегулированностью их стока [24]. В 2015–2016 гг. наименьшее содержание БЭ отмечено в воде р. Лижма, наибольшее — в р. Неглинке, которая дренирует территорию г. Петрозаводска, в результате чего испытывает сильное антропогенное влияние [22]. Различия в химическом составе северо-восточных и северо-западных притоков, как южных и юго-восточных, также обусловлены отличиями их гидрологических режимов и геологическим строением дренируемых ими пород [24].

В сезонном аспекте минимальная средняя концентрация БЭ в речном притоке наблюдалась в весенний период, когда отмечается максимальный сток всех рек, наибольшая — зимой, когда водный сток становится минимальным, происходит накопление минеральных форм БЭ в озерах и в питании рек возрастает доля подземного стока. В летний и осенний периоды в среднем содержание БЭ было близким. Кроме того, сезонная вариабельность концентрации БЭ обусловлена протеканием продукционно-деструкционных процессов [34].

Согласно гидрохимическим исследованиям притоков Онежского озера, выполненным в 1965–1967 гг. [24], различия между группами рек наблюдались, главным образом, в содержании $P_{\text{мин}}$, наибольший разброс его концентраций наблюдался в реках юго-восточного, юго-западного и южного побережий (1–53 мкг/л), тогда как в реках северного, северо-западного и северо-восточного побережий его изменчивость составила 1–28 мкг/л. Пределы колебаний содержания аммонийного и нитратного азота практически не отличались по группам рек и составили: в реках северо-западного и северного побережья — 0.02–0.13 и <0.01–0.40 мг N/л, северо-восточного — 0.04–0.32 и <0.01–0.35 мг N/л, южного и юго-восточного — 0.01–0.32 и <0.01–0.19 мг N/л, юго-западного — 0.06–0.29 и <0.01–0.30 мг N/л соответственно. Поскольку методики определения БЭ в воде в 1960-х гг. отличались от тех, которые используются в современный период, количественно сравнивать с ними полученные в настоящем исследовании данные не совсем корректно, поэтому

Таблица 3. Содержание БЭ в притоках Онежского озера в 2001–2002 (в числителе) и 2007–2008 гг. (в знаменателе) [20, 21]

Table 3. Nutrients content in the tributaries of Lake Onego in 2001–2002 (in the numerator) and 2007–2008 (in the denominator) [20, 21]

	$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{общ}}$	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	$N_{\text{орг}}$
	мкг/л		мг N/л		
Реки северо-западного и северного побережий	1–4	7–30	0.06–0.24	<0.01–0.61	0.24–1.61
	1–4	9–48	0.02–0.14	<0.01–0.64	0.26–1.02
Реки северо-восточного побережья	1–18	7–62	0.05–0.18	<0.01–0.12	0.29–0.58
	1–56	20–80	0.02–0.08	0.01–0.28	0.21–0.63
Реки юго-восточного и южного побережий	2–21	13–92	0.06–0.15	<0.01–0.22	0.21–0.94
	4–44	24–130	0.01–0.11	<0.01–0.31	0.06–0.80
Реки юго-западного побережья	2–61	22–425	0.04–1.27	<0.01–3.47	0.38–3.07
	2–85	16–117	0.02–0.64	<0.01–2.58	0.09–2.43

проведено количественное их сопоставление с результатами более поздних работ начала и середины 2000-х годов, выполненных на единой методической базе.

Содержание БЭ в воде притоков Онежского озера в 2015–2016 гг. согласуется с более ранними данными [20, 21]. В 2001–2002 и 2007–2008 гг. в реках юго-западного побережья так же отмечалось высокое содержание БЭ (табл. 3), максимальная концентрация $P_{\text{общ}}$ наблюдалась в реках Неглинка и Лососинка, находящихся в черте г. Петрозаводска [20, 21]. Для рек северного и северо-западного побережий было характерно минимальное содержание $P_{\text{мин}}$ и $P_{\text{общ}}$. Во всех притоках преобладали органические соединения азота, среди минеральных форм в большинстве рек превалировал азот аммонийный.

Содержание БЭ в воде р. Свирь в 2015–2016 гг. было низким (табл. 2), среди форм азота и фосфора преобладали органические соединения. Концентрация $P_{\text{мин}}$ достигала максимума в зимний период, минимальное ее значение наблюдалось летом (на уровне предела обнаружения). Среди минеральных форм азота, в отличие от большинства притоков Онежского озера, преобладали нитраты, наибольшее их содержание наблюдалось в зимний период, минимальное — летом, как и $P_{\text{мин}}$. Значимых изменений концентрации ионов аммония и нитритов в сезонном аспекте не выявлено.

Речная биогенная нагрузка на Онежское озеро

Максимальный речной сток $P_{\text{мин}}$, $P_{\text{общ}}$, аммонийного, нитритного, органического и общего азота наблюдался весной (36–49% от общего стока), немного меньше — осенью (25–31% от общего стока), минимальный — в периоды межени — зимой и летом (рис. 2). Исключением из общей картины был нитратный азот, максимальное поступление которого наблюдалось зимой (36% от годового стока), а наименьшее, как и по другим компонентам, — в период летней межени (рис. 2). Среди всех БЭ наименьший сток был отмечен для нитритного азота, в 2015–2016 гг. его поступление в Онежское озеро с речными водами составило 10.9 т/год.

В 2015–2016 гг. поступление фосфора общего с речным стоком в Онежское озеро составило 640 т/год, из них 27% приходилось на $P_{\text{мин}}$ (табл. 4) (в 2007–2008 гг. его доля была ниже — 24% от $P_{\text{общ}}$ [11]). Вынос общего азота с речными водами значительно выше — 10380 т/год, в нем превалировал $N_{\text{орг}}$ (8650 т/год), и его доля составила 83%

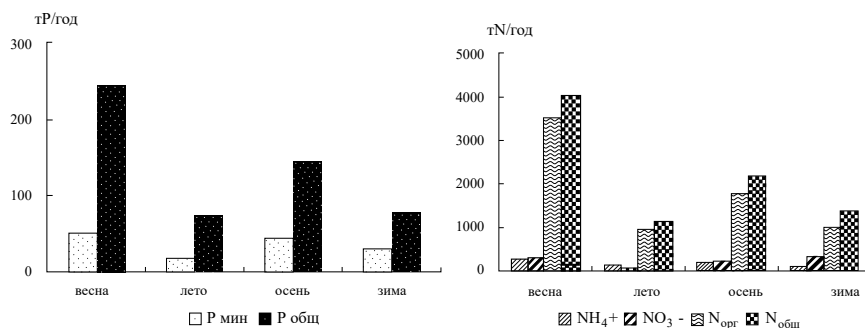


Рис. 2. Сезонный речной биогенный сток в Онежское озеро в 2015–2016 гг.

Fig. 2. Seasonal river nutrient inflow to Onego Lake in 2015–2016.

Таблица 4. Средневзвешенное содержание биогенных элементов в воде притоков, их поступление в Онежское озеро с реками и вынос из него в 2015–2016 гг.

Table 4. Weighted average content of nutrients in the water of the tributaries of Onego Lake, nutrient river inflow and outflow in 2015–2016

Река	Q*, км ³ /год	% от при- тока	P _{мин}	P _{общ}	N- NH ₄	N- NO ₂	N- NO ₃	N _{орг}	N _{общ}
			мкг/л		мгN/л				
Суна	0.02	0.1	5	30	0.03	0.001	0.02	0.57	0.63
Кондопожский канал	2.32	15.9	1	11	0.03	0.001	0.08	0.28	0.39
Лижма	0.28	1.9	1	13	0.02	0.001	0.02	0.32	0.36
Уница	0.13	0.9	3	23	0.06	0.001	0.02	0.65	0.74
Кумса	0.26	1.8	2	11	0.03	0.001	0.04	0.32	0.39
Вичка	0.04	0.3	5	22	0.04	0.001	0.15	0.34	0.53
ББК	0.35	2.4	3	17	0.04	0.0004	0.02	0.28	0.34
Немина	0.29	2.0	23	59	0.05	0.001	0.03	0.45	0.53
Пяльма	0.37	2.5	13	44	0.05	0.001	0.04	0.52	0.61
Водла	4.63	31.8	9	41	0.05	0.001	0.06	0.54	0.65
Черная	0.25	1.7	47	96	0.08	0.001	0.04	1.03	1.16
Андома	1.09	7.5	13	47	0.05	0.001	0.04	0.57	0.65
Вытегра	0.58	4.0	12	35	0.05	0.001	0.07	0.53	0.65
Мегра	0.57	3.9	19	56	0.05	0.001	0.04	0.65	0.73
Ошта	0.11	0.8	6	33	0.05	0.001	0.07	0.53	0.65
Шокша	0.04	0.3	9	37	0.08	0.001	0.08	0.81	0.97
Пухта	0.04	0.3	11	46	0.04	0.001	0.03	0.89	0.96
Уя	0.02	0.1	4	27	0.04	0.001	0.03	0.47	0.53
Деревянка	0.03	0.2	36	74	0.10	0.002	0.18	0.47	0.75
Орзega	0.02	0.1	30	68	0.05	0.001	0.02	0.67	0.74
Нелукса	0.01	0.1	7	35	0.07	0.001	0.35	0.62	1.04
Лососинка	0.11	0.8	41	90	0.07	0.004	0.15	0.51	0.73
Неглинка	0.02	0.1	116	189	0.12	0.032	1.64	1.20	2.99
Шуя	3.00	20.6	9	42	0.04	0.001	0.05	0.52	0.61
Всего	14.58	100							
Средневзвешенные концентрации			10	37	0.04	0.001	0.06	0.50	0.60
Поступление в озеро с исследованными притоками, т/год	14.58		146	539	583	14.6	875	7290	8748
Поступление в озеро со всеми притоками, т/год	17.3		173	640	692	17.3	1038	8650	10380
Сток из озера, т/год	18.6		67	290	709	9	2293	6784	9795

Примечание. * – среднегодовое водное стока, ** – доля водного стока.

Note. * – average annual water discharge, ** – share of water discharge.

от $N_{\text{общ}}$ (табл. 3) (в 2007–2008 гг. — 79% [11]), на NH_4^+ (692 т N/год) и NO_3^- (1038 т N/год) приходилось 7 и 10% от $N_{\text{общ}}$ соответственно. Поступление БЭ в Онежское озеро с речным стоком фактически отражает их содержание в поверхностных водах Карелии, в которых, за исключением больших стратифицированных озер, преобладает $N_{\text{орг}}$, а содержание $P_{\text{мин}}$ составляет 10–20% от $P_{\text{общ}}$ [9].

Поступление $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ с речными водами в Онежское озеро выше стока из него с р. Свирь (табл. 4). Это означает, что в водоеме происходит трансформация лабильных веществ и их удаление из водной среды посредством седиментации и биохимического окисления [10]. Доли $P_{\text{мин}}$ в приточных водах и в истоке из озера близкие (27 и 23% соответственно), тогда как доля минеральных соединений азота в воде р. Свирь почти в 2 раза выше по сравнению с речными водами, поступающими в озеро (31 и 17% соответственно).

Основной вклад в речную биогенную нагрузку вносят крупнейшие притоки озера — реки Водла, Шуя, Андома и Кондопожский канал (одно из русел р. Суны), на них приходится по 60% от общего притока $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ в озеро. При сравнении поступления БЭ в Онежское озеро с этими реками в 2007–2008 [11] и 2015–2016 гг. можно отметить, что сток минеральных форм N и P с р. Водлой несколько увеличился (рис. 3). При этом вынос аммонийного азота с р. Шуйей существенно уменьшился,

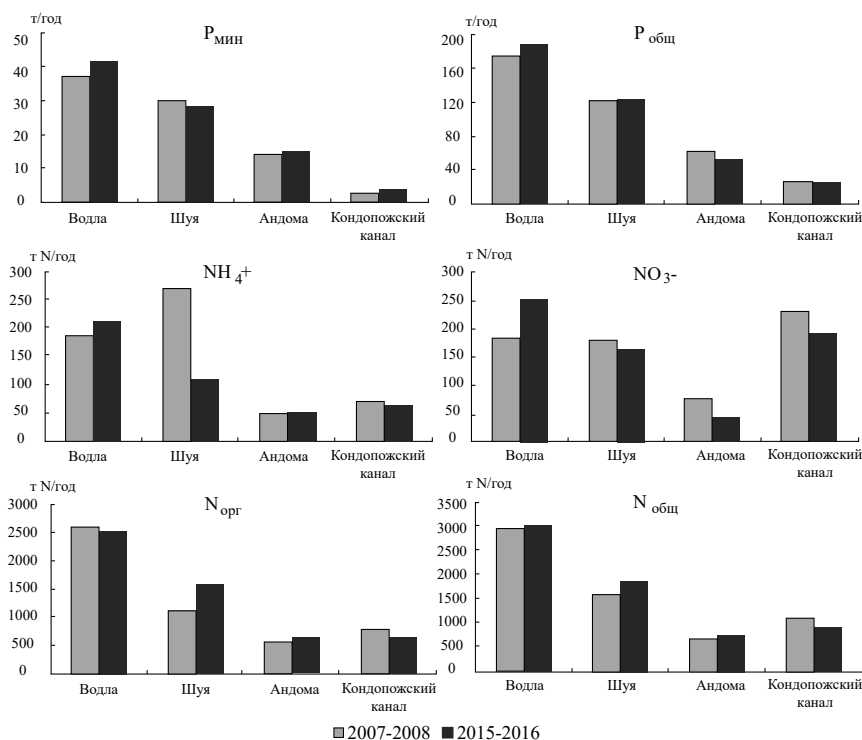


Рис. 3. Биогенный сток в Онежское озеро с основными притоками в 2007–2008 и 2015–2016 гг.

Fig. 3. Nutrient inflow to Lake Onego from the main tributaries in 2007–2008 and 2015–2016.

Таблица 5. Годовой вынос биогенных элементов с малыми притоками в Онежское озеро в различные годы (в числителе — 2007–2008 гг., в знаменателе — 2015–2016 гг.)

Table 5. Annual nutrient inflow to Lake Onego from small tributaries in various time periods (in the numerator — 2007–2008, in the denominator — 2015–2016)

Река	Q*, км³/год	P _{мин}	P _{общ}	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	N _{орг}	N _{общ}
		т/год		т N/год				
Суна	0.02	<u>1.3</u> 0.1	<u>1.9</u> 0.6	<u>1.2</u> 0.7	<u>0.04</u> 0.01	<u>0.8</u> 0.4	<u>11</u> 11	<u>13</u> 13
Лижма	0.28	<u>0.6</u> 0.2	<u>3.4</u> 3.6	<u>8.4</u> 6.7	<u>0.6</u> 0.1	<u>8.4</u> 4.8	<u>129</u> 89	<u>146</u> 101
Уница	0.13	<u>0.4</u> 0.4	<u>2.9</u> 3.0	<u>7.8</u> 8.0	<u>0.3</u> 0.1	<u>9.1</u> 2.6	<u>62</u> 85	<u>79</u> 96
Кумса	0.26	<u>0.5</u> 0.5	<u>4.4</u> 3.0	<u>10</u> 8.6	<u>0.5</u> 0.2	<u>18</u> 10	<u>94</u> 82	<u>122</u> 101
Вичка	0.04	<u>0.1</u> 0.2	<u>0.8</u> 0.9	<u>2.4</u> 1.7	<u>0.12</u> 0.03	<u>10</u> 5.8	<u>16</u> 14	<u>28</u> 21
ББК	0.35	<u>1.1</u> 1.0	<u>12</u> 6.0	<u>21</u> 13	<u>0.4</u> 0.2	<u>7.0</u> 7.1	<u>125</u> 99	<u>154</u> 119
Немина	0.29	<u>7.0</u> 6.6	<u>17</u> 17	<u>17</u> 13	<u>0.3</u> 0.2	<u>12</u> 10	<u>145</u> 131	<u>174</u> 155
Пяльма	0.37	<u>3.0</u> 4.9	<u>13</u> 16	<u>15</u> 19	<u>0.4</u> 0.3	<u>19</u> 14	<u>204</u> 193	<u>237</u> 226
Черная	0.25	<u>5.8</u> 12	<u>20</u> 24	<u>25</u> 20	<u>0.5</u> 0.4	<u>13</u> 11	<u>170</u> 259	<u>208</u> 290
Вытегра	0.58	<u>12</u> 6.9	<u>42</u> 20	<u>29</u> 26	<u>4.1</u> 0.3	<u>99</u> 38	<u>232</u> 310	<u>360</u> 374
Мегра	0.57	<u>9.7</u> 11	<u>35</u> 32	<u>23</u> 28	<u>1.1</u> 0.5	<u>29</u> 20	<u>325</u> 368	<u>376</u> 417
Ошта	0.11	<u>0.9</u> 0.7	<u>4.3</u> 3.7	<u>5.5</u> 5.8	<u>0.2</u> 0.1	<u>13</u> 8.1	<u>42</u> 58	<u>61</u> 72
Шокша	0.04	<u>0.8</u> 0.4	<u>2.3</u> 1.5	<u>2.8</u> 3.0	<u>0.1</u> 0.04	<u>5.2</u> 3.1	<u>23</u> 33	<u>31</u> 39
Пухта	0.04	<u>0.5</u> 0.5	<u>1.7</u> 1.8	<u>2.0</u> 1.7	<u>0.1</u> 0.03	<u>0.8</u> 1.1	<u>30</u> 35	<u>32</u> 38
Уя	0.02	<u>0.1</u> 0.1	<u>0.5</u> 0.5	<u>0.6</u> 0.7	<u>0.04</u> 0.01	<u>0.8</u> 0.5	<u>13</u> 9	<u>14</u> 11
Деревянка	0.03	<u>1.3</u> 1.1	<u>2.2</u> 2.2	<u>1.5</u> 2.9	<u>0.2</u> 0.1	<u>5.7</u> 5.4	<u>18</u> 14	<u>25</u> 23
Орзega	0.02	<u>0.7</u> 0.6	<u>1.5</u> 1.4	<u>4.8</u> 1.0	<u>0.04</u> 0.01	<u>0.2</u> 0.3	<u>9</u> 13	<u>14</u> 15
Нелукса	0.01	<u>0.1</u> 0.1	<u>0.3</u> 0.4	<u>3.6</u> 0.7	<u>0.05</u> 0.01	<u>11</u> 3.5	<u>20</u> 6.2	<u>35</u> 10
Лососинка	0.11	<u>4.2</u> 4.5	<u>7.6</u> 10	<u>4.4</u> 7.3	<u>0.4</u> 0.5	<u>18</u> 17	<u>57</u> 56	<u>80</u> 80
Неглинка	0.02	<u>1.0</u> 2.3	<u>1.6</u> 3.8	<u>1.4</u> 2.4	<u>0.2</u> 0.7	<u>24</u> 33	<u>25</u> 24	<u>50</u> 60
Всего	17.3	<u>159</u> 173	<u>656</u> 640	<u>900</u> 692	<u>34.6</u> 17.3	<u>1159</u> 1038	<u>8079</u> 8650	<u>10172</u> 10380

однако возросло поступление с ее водами органических форм азота. Вынос нитратов с водами Кондопожского канала и р. Андомы также уменьшился. Однако при статистическом анализе данных с применением непараметрического теста Манна–Уитни значимой разницы в изменении биогенного стока основных притоков между 2007–2008 и 2015–2016 гг. не выявлено ($p > 0.05$).

Существенных изменений в выносе БЭ с малыми притоками в Онежское озеро в рассматриваемые периоды не наблюдается, за исключением рек Суна и Лижма (табл. 5). Сток некоторых форм БЭ с этими реками отличается, при этом значимыми являются различия в выносе азота нитритного (для р. Суны с уровнем значимости $p = 0.03$, р. Лижмы — $p = 0.02$) и $N_{\text{общ}}$ с водами р. Лижмы ($p = 0.02$), он уменьшился в 2015–2016 гг. по сравнению с данными 2007–2008 гг.

Удельный вынос БЭ с водосбора Онежское озеро в сравнении с другими крупнейшими озерами России

Полученные результаты позволяют провести сравнение речной биогенной нагрузки на Онежское озеро с другими крупными озерами России. Так, в 2010–2016 гг. в оз. Байкал с речными водами поступило 1100 т/год $P_{\text{мин}}$ и 8000 т/год $N_{\text{общ}}$ [31]. Информация о речном стоке $P_{\text{общ}}$ в оз. Байкал не обнаружена, однако известно, что нагрузка $P_{\text{общ}}$ от р. Селенги, крупнейшего его притока, составляет в среднем 1700 т/год [32]. С учетом того, что на ее сток приходится 50% общего речного стока в водоем [31], можно предположить, что речная нагрузка на озеро по общему фосфору в среднем достигает 3400 т/год. Согласно данным В.А. Румянцева с соавторами [17], поступление $P_{\text{общ}}$ с речным стоком в Ладожское озеро в зависимости от водности года составляет 3–5 тыс. т/год, $N_{\text{общ}}$ — 55–65 тыс. т/год. Эти озера существенно различаются по площади водосбора (табл. 6), поэтому для сравнения объемов поступления БЭ в них целесообразно использовать показатель удельного выноса БЭ с единицы площади водосбора. Этот показатель отражает как специфику водосборной территории водного объекта [5; 26], так и интенсивность сельскохозяйственной деятельности на его водосборе [25]. Наименьший удельный вынос БЭ получен для имеющего наибольшую площадь водосборной территории оз. Байкал (табл. 6), что свидетельствует о том, что оно испытывает наименьшее воздействие диффузных источников загрязнения [4]. Из всех его притоков максимальная сельскохозяйственная нагрузка приходится на р. Селенга, тогда как в бассейнах других рек она существенно ниже [26]. Основными источниками антропогенного воздействия на оз. Байкал в настоящее время являются недостаточно очищенные сточные воды населенных пунктов, судоходство и интенсивная туристическая деятельность на его

Таблица 6. Удельный вынос биогенных элементов с водосборов крупнейших озер России

Table 6. Specific removal of nutrients from the catchment areas of the largest lakes of Russia

Озеро	Площадь водосбора, км ²	$P_{\text{мин}}$	$P_{\text{общ}}$	$N_{\text{общ}}$
		кг/км ² в год		
Онежское	53100 ¹	3	12	195
Ладожское	258600 ²	—	15	193
Байкал	570000 ³	2	6	14

Примечание. 1 — [7]; 2 — [18]; 3 — [28].

побережье [31, 32]. Удельный вынос $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ с водосборов Онежского и Ладожского озер близок (табл. 6), несмотря на то, что площади их водосборов различаются на порядок. Согласно данным [3], сельскохозяйственная биогенная нагрузка на водосборе Ладожского озера выше в 1.5 раза по $P_{\text{общ}}$ и в 2 раза по $N_{\text{общ}}$ по сравнению с водосбором Онежского озера.

Удельный вынос БЭ с водосборной территории Онежского озера во временном аспекте несущественно изменяется (рис. 4). К 2001–2002 гг. происходит его снижение по обоим компонентам за счет уменьшения антропогенной нагрузки в результате экономического спада 1990-х гг., что согласуется с данными [23], затем величина удельного выноса увеличивается, его значение по $P_{\text{общ}}$ достигает уровня 1965–1967 гг. (рис. 4).

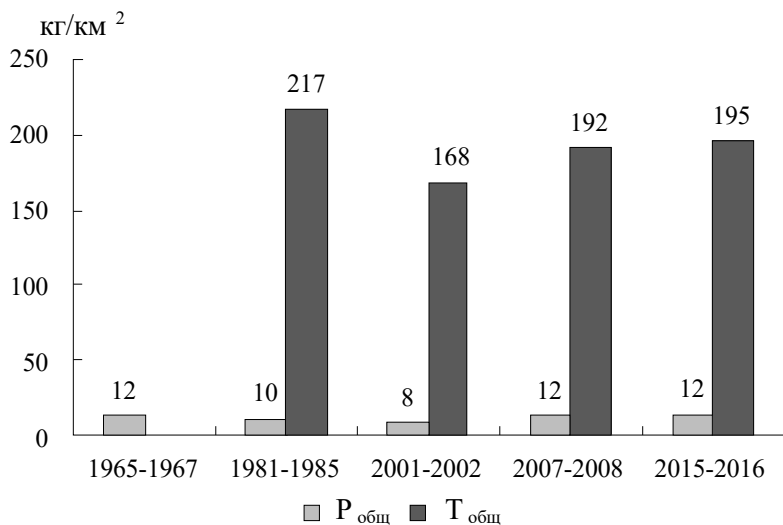


Рис. 4. Удельный вынос БЭ с водосборной территории Онежского озера в различные периоды (рассчитан по данным биогенной нагрузки из [11, 16, 19, 24]).

Fig. 4. Specific removal of nutrients from the Lake Onego catchment in different time periods (calculated by nutrient load data from [11, 16, 19, 24]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе данных химического состава воды притоков Онежского озера, полученных в 2015–2016 гг., и их среднееголетнего стока определен речной биогенный сток в озеро: поступление фосфора общего составило 640 т/год, общего азота — 10380 т/год. Основной вклад в речной приток БЭ вносят органические формы азота (83% от $N_{\text{общ}}$) и фосфора (73% от $P_{\text{общ}}$). Сток большинства БЭ из озера с водами р. Свирь меньше по сравнению с их речным поступлением. На крупнейшие притоки (реки Водла, Шуя, Кондопожский канал, Андома) приходится по 60% стока $P_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ от общего их поступления в озеро. Значимых изменений в поступлении БЭ как в целом с речным стоком, так и с крупными притоками в 2015–2016 гг. по сравнению с 2007–2008 гг. не выявлено. Удельный вынос БЭ с водосборных территорий Онежского и Ладожского озер близок, наименьшие его значения установлены для оз. Байкал, что обусловлено меньшей антропогенной нагрузкой на его водосборной

территории. Во временном аспекте происходит колебание удельного выноса биогенных элементов с водосборной территории Онежского озера, связанное с изменением антропогенной нагрузки.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Финансовое обеспечение осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН). Исследование выполнено на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Под ред. П. А. Лозовика, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.
2. Балаганский А. Ф., Карпечко В. А., Литвиненко А. В., Сало Ю. А. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). Гидрологический режим. Ресурсы речного стока и водный баланс // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 31–38.
3. Брюханов В. Ю., Обломкова Н. С., Васильев Э. В. Сельскохозяйственная деятельность на водосборе и сформированная биогенная нагрузка // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. М., 2021. С. 113–125.
4. Кирпичникова Н. В., Полянин В. О., Курбатова И. Е., Черненко Ю. Д. Критерии оценки экологического состояния водосборов малых рек и выноса биогенных веществ в Иваньковское водохранилище // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 6. С. 81–105. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2021-6-5>
5. Кольмакова Е. Г., Маслова О. И., Гриб С. В. Биогенный сток рек бассейна Западной Двины как показатель агрохозяйственного освоения водосборов // Вучоны Запіскі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. С. Пушкіна. 2011. № 7–2. С. 79–88.
6. Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П. Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы. Петрозаводск, 2006. 39 с.
7. Литвиненко А. В., Карпечко В. А. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). Гидрологический режим. Гидрографическая характеристика водоема и его бассейна // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 22–27.
8. Литвинова И. А., Литвиненко А. В., Богданова М. С. Анализ водохозяйственного использования водосбора на основе ГИС-технологий // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 52–60.
9. Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию. Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М., 2006. 56 с.

10. Лозовик П. А. Органическое вещество и биогенные элементы в объектах гидросферы. Источники поступления, внутриводоемные процессы образования и трансформации // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Труды VI Всероссийского симпозиума с международным участием. Барнаул, 2017. С. 141–147.
11. Лозовик П. А., Бородулина Г. С., Карпечко Ю. В., Кондратьев С. А., Литвиненко А. В., Литвинова И. А. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды КарНЦ РАН, 2016. № 5. С. 35–52. <https://doi.org/10.17076/lim303>
12. Лозовик П. А., Кулик Н. В., Ефременко Н. А. Литофильные элементы и тяжелые металлы в Онежском озере: источники поступления, содержание и трансформация // Труды КарНЦ РАН, 2020. № 4. С. 62–74. <https://doi.org/10.17076/lim1189>
13. Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 464 с.
14. Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 151 с.
15. Пирожкова Г. П. Химический состав приточных вод бассейна Онежского озера // При-токи Онежского озера. Петрозаводск, 1990а. С. 4–36.
16. Пирожкова Г. П. Источники формирования химического состава воды озера // Эко-система Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990б. С. 97–103.
17. Румянцев В. А., Кондратьев С. А., Поздняков Ш. Р., Рябенко В. А., Басова С. Л., Шма-кова М. В. Основные факторы, определяющие функционирование водной системы Ладож-ское озеро — река Нева — Невская губа — восточная часть Финского залива в современных условиях // Известия Русского географического общества. 2012. Т. 144. Вып. 2. С. 55–69.
18. Румянцев В. А., Кудерский Л. А. Ладожское озеро: общая характеристика, экологиче-ское состояние // Общество. Среда. Развитие. 2010. № 2. С. 222–230.
19. Сабылина А. В. Онежское озеро и его притоки. Внешняя нагрузка на Онежское озеро // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007а. С. 19–21.
20. Сабылина А. В. Онежское озеро и его притоки. Химический состав воды притоков // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007б. С. 21–29.
21. Сабылина А. В. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). Гидрохимические исследования. Химический состав воды притоков // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской террито-рии России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропо-генных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С.
22. Сабылина А. В., Ефремова Т. А., Икко О. И. Химический состав поверхностных, сточ-ных и речных вод, поступающих с территории города Петрозаводска в Онежское озеро // Известия РГО. 2022. Т. 154, № 4. С. 39–53. <https://doi.org/10.31857/S0869607122040073>
23. Сабылина А. В., Лозовик П. А., Зобков М. Б. Химический состав воды Онежского озера и его притоков // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 6. С. 717–729.
24. Соловьева Н. Ф., Расплетина Г. Ф. Гидрохимия притоков Онежского озера и элемен-ты его химического баланса // Гидрохимия Онежского озера и его притоков. Л.: Наука, 1973. С. 3–129.
25. Федорова Е. В., Карпунина О. П., Щипачева Л. А., Беляева И. У. Оценка неконтроли-руемого стока биогенных веществ с водосборных территорий малых водотоков Среднего Ура-ла, включенных в сельскохозяйственное использование // Водное хозяйство России: пробле-мы, технологии, управление. 2022. № 1. С. 68–86. https://doi.org/10.35567/19994508_2022_1_5

26. Федорова Е. В., Щипачева Л. А., Карпунина О. П., Максимчук Н. С. Роль сельскохозяйственной деятельности в бассейне реки Камы в формировании качества поверхностных вод // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 1. С. 31–46.
27. Цибудеева Д. Ц., Рыбкина И. Д. Оценка антропогенной нагрузки на водосборные территории речных бассейнов Республики Бурятия // Мир науки, культуры, образования, 2014. № 2 (45). С. 405–410.
28. Шнейзер Г. М., Селина Н. А., Иванова Е. И. Гидрохимическая характеристика озера Байкал // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 8. С. 89–90.
29. Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2022. Vol. 17. 100619. doi:
30. Intercomparison 1630: pH, conductivity, alkalinity, $\text{NO}_3\text{-N}$, Cl, SO_4 , Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn. Oslo (Norway): Norwegian Institute for Water Research. Report № 7081–2016 ICP Waters report 129/2016.
31. Khodzher T. V., Domyшева V. M., Sorokovikova L. M., Sakirko M. V., Tomberg I. V. Current chemical composition of Lake Baikal water // *Inland Waters*. 2017. Vol. 7, n. 3. P. 250–258. <http://dx.doi.org/10.1080/20442041.2017.1329982>
32. Khodzher T. V., Domyшева V. M., Sorokovikova L. M., Tomberg I. V., Sakirko M. V. Hydrochemical studies in Lake Baikal: history and nowadays // *Limnology and Freshwater Biology*. 2018. Vol. 1, n. 1. P. 2–9. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2018-A-1-2>
33. Sindilariua P.-D., Reiter R., Wedekind H. Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. *Aquat. Living Resour.* 2009. 22, 93–103.
34. Zhang X., Ward B. B., Sigman D. M. Global Nitrogen Cycle: Critical Enzymes, Organisms, and Processes for Nitrogen Budgets and Dynamics. *Chem. Rev.* 2020. Vol. 120, n 12. P. 5252–5307. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00613>

Current river nutrient load on Lake Onego

N. E. Galakhina*, A. V. Sabylina**, M. B. Zobkov***

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

*E-mail: kulakovanata@mail.ru

** E-mail: efremova.nwpi@mail.ru

*** E-mail: ya-mikhailz@yandex.ru

Abstract – The river nutrient inflow into Lake Onego (TP – 640 t/year, TN – 10380 t/year) and the nutrient outflow with the Svir' River (TP – 290 t/year, TN – 9795 t/year) in 2015–2016 were estimated. The main contribution to the river nutrient load belongs to the organic forms of nitrogen (83% of TN) and phosphorus (73% of TP). The largest tributaries of Lake Onego (the rivers Vodla, Shuya, Andoma and the Kondopoga Canal) each account for 60% of total TP and TN inflow. The outflow of most nutrient forms from the lake with the Svir' River is less compared to their river inflow into the lake. There were no significant changes in nutrient inflow to the lake both with the whole river discharge and with its largest tributaries in 2015–2016 compared to 2007–2008. A comparison of the specific removal of nutrients from the catchment areas of the largest lakes in Russia (Baikal, Lake Ladoga and Lake Onego), which differ in the areas of the drainage areas and the anthropogenic load level, was carried out.

Keywords: tributaries, river discharge, nutrients, anthropogenic impact, specific removal

REFERENCES

1. Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrohimicheskoy praktike / Pod red. P.A. Lozovika, N.A. Efremenko. SPb.: Nestor-Istoriya, 2017. 272 s.
2. Balaganskij A.F., Karpechko V.A., Litvinenko A.V., Salo YU. A. Sovremennoe sostoyanie i izmenenie ekosistemy Onezhskogo ozera (Verhne-Svirskogo vodohranilishcha). Gidrologicheskij rezhim. Resursy rechnogo stoka i vodnyj balans // Krupnejshie ozera-vodohranilishcha Severo-Zapada evropejskoj territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskih i antropogennyh vozdejstviyah. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2015. S. 31–38.
3. Bryuhanov V. YU., Oblomkova N.S., Vasil'ev E.V. Sel'skohozyajstvennaya deyatel'nost' na vodosbore i sformirovannaya biogennaya nagruzka // Sovremennoe sostoyanie i problemy antropogennoj transformacii ekosistemy Ladozhskogo ozera v usloviyah izmenyayushchegosya klimata. M., 2021. S. 113–125.
4. Kirpichnikova N.V., Polyanin V.O., Kurbatova I.E., Chernenko YU. D. Kriterii ocenki ekologicheskogo sostoyaniya vodosborov malyh rek i vynosa biogennyh veshchestv v Ivan'kovskoe vodohranilishche // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2021. № 6. S. 81–105. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2021-6-5>
5. Kol'makova E. G., Maslova O.I., Grib S.V. Biogennyj stok rek bassejna Zapadnoj Dviny kak pokazatel' agrohozyajstvennogo osvoeniya vodosborov // Vuchonyya Zapiski Bresckaga dzyarzhaj'naga universiteta imya A. S. Pushkina. 2011. № 7–2. S. 79–88.
6. Kitaev S.P., Il'mast N. V., Sterligova O.P. Metody ocenki biogЕННОJ nagruzki ot forelevyh ferm na vodnye ekosistemy. Petrozavodsk, 2006. 39 s.
7. Litvinenko A.V., Karpechko V.A. Sovremennoe sostoyanie i izmenenie ekosistemy Onezhskogo ozera (Verhne-Svirskogo vodohranilishcha). Gidrologicheskij rezhim. Gidrograficheskaya harakteristika vodoema i ego bassejna // Krupnejshie ozera-vodohranilishcha Severo-Zapada evropejskoj territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskih i antropogennyh vozdejstviyah. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2015. S. 22–27.
8. Litvinova I.A., Litvinenko A.V., Bogdanova M.S. Analiz vodohozyajstvennogo ispol'zovaniya vodosbora na osnove GIS-tekhnologij // Krupnejshie ozera-vodohranilishcha Severo-Zapada evropejskoj territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskih i antropogennyh vozmozhnostyah. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2015. S. 52–60.
9. Lozovik P.A. Gidrogeohimicheskie kriterii sostoyaniya poverhnostnyh vod gumidnoj zony i ih ustojchivosti k antropogennomu vozdejstviyu. Avtoref. dis. ... dokt. him. nauk. M., 2006. 56 s.
10. Lozovik P.A. Organicheskoe veshchestvo i biogennye elementy v ob'ektah gidrosfery. Istochniki postupleniya, vntrivodoemnye processy obrazovaniya i transformacii // Organicheskoe veshchestvo i biogennye elementy vo vnutrennih vodoemah i morskikh vodah: Trudy VI Vserossijskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem. Barnaul, 2017. S. 141–147.
11. Lozovik P.A., Borodulina G.S., Karpechko YU. V., Kondrat'ev S. A., Litvinenko A.V., Litvinova I.A. Biogennaya nagruzka na Onezhskoe ozero po dannym naturnyh nablyudenij // Trudy KarNC RAN, 2016. № 5. S. 35–52. <https://doi.org/10.17076/lim303>
12. Lozovik P.A., Kulik N.V., Efremenko N.A. Litofil'nye elementy i tyazhelye metally v Onezhskom ozere: istochniki postupleniya, sodержanie i transformaciya // Trudy KarNC RAN, 2020. № 4. S. 62–74. <https://doi.org/10.17076/lim1189>
13. Ozera Karelii. Spravochnik / Pod red. N.N. Filatova, V.I. Kuhareva. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2013. 464 s.
14. Onezhskoe ozero. Atlas / Pod red. N.N. Filatov. Petrozavodsk, 2010. 151 s.
15. Pirozhkova G.P. Himicheskij sostav pritochnyh vod bassejna Onezhskogo ozera // Pritoki Onezhskogo ozera. Petrozavodsk, 1990a. S. 4–36.

16. Pirozhkova G. P. Istochniki formirovaniya himicheskogo sostava vody ozera // Ekosistema Onezhskogo ozera i tendencii ee izmeneniya. L.: Nauka, 1990b. S. 97–103.
17. Rumyantsev V. A., Kondrat'ev S. A., Pozdnyakov S. H. R., Ryabchenko V. A., Basova S. L., SHmakova M. V. Osnovnye faktory, opredelyayushchie funkcionirovanie vodnoj sistemy Ladozhskoe ozero — reka Neva — Nevskaya guba — vostochnaya chast' Finskogo zaliva v sovremennykh usloviyakh // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2012. T. 144. Vyp. 2. S. 55–69.
18. Rumyantsev V. A., Kuderskiy L. A. Ladozhskoe ozero: obshchaya harakteristika, ekologicheskoe sostoyanie // Obshchestvo. Sreda. Razvitie. 2010. № 2. S. 222–230.
19. Sabylina A. V. Onezhskoe ozero i ego pritoki. Vneshnyaya nagruzka na Onezhskoe ozero // Sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya. Po rezul'tatam monitoringa 1998–2006 gg. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2007a. S. 19–21.
20. Sabylina A. V. Onezhskoe ozero i ego pritoki. Himicheskij sostav vody pritokov // Sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya. Po rezul'tatam monitoringa 1998–2006 gg. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2007b. S. 21–29.
21. Sabylina A. V. Sovremennoe sostoyanie i izmenenie ekosistemy Onezhskogo ozera (Verhne-Svirsogo vodohranilishcha). Gidrohimiya pritokov Onezhskogo ozera i elementy ego himicheskogo balansa // Gidrohimiya Onezhskogo ozera i ego pritokov. L.: Nauka, 1973. S. 3–129.
22. Sabylina A. V., Efremova T. A., Ikko O. I. Himicheskij sostav poverhnostnykh, stochnykh i rechnykh vod, postupayushchikh s territorii goroda Petrozavodsk v Onezhskoe ozero // Izvestiya RGO. 2022. T. 154, № 4. S. 39–53. <https://doi.org/10.31857/S0869607122040073>
23. Sabylina A. V., Lozovik P. A., Zobkov M. B. Himicheskij sostav vody Onezhskogo ozera i ego pritokov // Vodnye resursy. 2010. T. 37, № 6. S. 717–729.
24. Solov'eva N. F., Raspletina G. F. Gidrohimiya pritokov Onezhskogo ozera i elementy ego himicheskogo balansa // Gidrohimiya Onezhskogo ozera i ego pritokov. L.: Nauka, 1973. S. 3–129.
25. Fedorova E. V., Karpunina O. P., SHCHipacheva L. A., Belyaeva I. U. Ocenka nekontroliruemogo stoka biogennykh veshchestv s vodosbornykh territorij mal'kh vodotokov Srednego Urala, vkl'yuchennykh v sel'skohozyajstvennoe ispol'zovanie // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2022. № 1. S. 68–86. https://doi.org/10.35567/19994508_2022_1_5.
26. Fedorova E. V., SHCHipacheva L. A., Karpunina O. P., Maksimchuk N. S. Rol' sel'skohozyajstvennoj deyatel'nosti v bassejne reki Kamy v formirovanii kachestva poverhnostnykh vod // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. 2012. № 1. S. 31–46.
27. Cibudeeva D. C., Rybkina I. D. Ocenka antropogennoj nagruzki na vodosbornye territorii rechnykh bassejnov Respubliki Buryatiya // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya, 2014. № 2 (45). S. 405–410.
28. SHpejzer G. M., Selina N. A., Ivanova E. I. Gidrohimiyskaya harakteristika ozera Bajkal // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2007. № 8. S. 89–90.
29. Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2022. Vol. 17. 100619. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100619>
30. Intercomparison 1630: pH, conductivity, alkalinity, NO₃–N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn. Oslo (Norway): Norwegian Institute for Water Research. Report No. 7081–2016 ICP Waters report 129/2016.

31. Khodzher T. V., Domysheva V. M., Sorokovikova L. M., Sakirko M. V., Tomberg I. V. Current chemical composition of Lake Baikal water // *Inland Waters*. 2017. Vol. 7, n. 3. P. 250–258. <http://dx.doi.org/10.1080/20442041.2017.1329982>
32. Khodzher T. V., Domysheva V. M., Sorokovikova L. M., Tomberg I. V., Sakirko M. V. Hydrochemical studies in Lake Baikal: history and nowadays // *Limnology and Freshwater Biology*. 2018. Vol. 1, n. 1. P. 2–9. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2018-A-1-2>
33. Sindilariua P.-D., Reiter R., Wedekind H. Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. *Aquat. Living Resour.* 2009. 22, 93–103.
34. Zhang X., Ward B. B., Sigman D. M. Global Nitrogen Cycle: Critical Enzymes, Organisms, and Processes for Nitrogen Budgets and Dynamics. *Chem. Rev.* 2020. Vol. 120, n 12. P. 5252–5307. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00613>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галахина Наталия Евгеньевна

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ “Карельский научный центр РАН”, Россия, Петрозаводск

e-mail: kulakovanata@mail.ru

Galakhina Natalia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Russia, Petrozavodsk

e-mail: kulakovanata@mail.ru

Сабылина Альбина Васильевна

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ “Карельский научный центр РАН”, Россия, Петрозаводск

e-mail: efremova.nwpi@mail.ru

Sabylina Albina

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Russia, Petrozavodsk

e-mail: efremova.nwpi@mail.ru

Зобков Михаил Борисович

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ “Карельский научный центр РАН”, Россия, Петрозаводск

e-mail: ya-mikhailz@yandex.ru

Zobkov Mikhail

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Russia, Petrozavodsk

e-mail: ya-mikhailz@yandex.ru

УДК 556.5

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УСЛОВИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО КОМФОРТА НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

© 2024 г. Д. Ю. Гущина^{а, *}, Ж. Т. Мухтарова^{б, **}

^аМосковский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
географический факультет, Москва, Россия

^бКазахстанский филиал МГУ имени М. В. Ломоносова, Астана, Казахстан

*E-mail: dasha155@mail.ru

**E-mail: zhanelmkhtrva@gmail.com

Поступила в редакцию 27.03.2024 г.

После доработки 11.10.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

Исследование условий термического комфорта в Казахстане мотивировано отсутствием обобщенных исследований для территории республики, значительными социальными и экономическими последствиями экстремальных погодных условий для экономики и населения, и наблюдающимися значимыми трендами температуры воздуха и осадков в регионе. На основе данных станционных наблюдений по 13 городам Казахстана проанализированы сезонный цикл и пространственное распределение условий холодогового и теплогового стресса для территории Казахстана. Для оценки холодогового стресса использован ветро-холодовой индекс (wind-chill index WCI), для теплогового стресса физиологически эквивалентная температура (PET). Показано, что самым холодным регионом Казахстана является Север с максимальным количеством дней с холодоговым стрессом в Астане и Петропавловске. Максимальное количество случаев холодогового стресса всех градаций приходится на январь и февраль, минимум — на март, а в октябре холодогового стресса на территории республики не зафиксирован. Сильное термическое воздействие зафиксировано во всех регионах Казахстана в течение всех 6 месяцев теплого полугодия (с апреля по сентябрь включительно). Максимальная повторяемость превышения индекса PET +35°С установлена в таких городах как Алматы и Шымкент. Пространственное распределение термического комфорта определяется преимущественно циркуляционными условиями в зимний период и радиационными условиями — в летний, что в целом характерно для континентальных типов климата. Межгодовая изменчивость условий холодогового стресса не имеет выраженного тренда и носит нерегулярный характер, обусловленный особенностями синоптических процессов в конкретный год. В теплый период в большинстве городов количество дней с сильным тепловым воздействием к концу периода возрастает в соответствии с положительным трендом температуры.

Выявлено, что самыми термически комфортными городами Казахстана являются Кокшетау и Костанай, к самым термически дискомфортным относятся Алматы и Шымкент. Показано, что, несмотря на то, что Казахстан традиционно считается страной с очень суровыми зимними условиями, определяющим условия термического дискомфорта в Республике является летний период.

Ключевые слова: Казахстан, термический комфорт, ветро-холодовой индекс, физиологически эквивалентная температура

DOI: 10.31857/S0869607124040069, **EDN:** MOEWKI

ВВЕДЕНИЕ

Современное изменение климата сопровождается резкими изменениями биоклиматических условий по всему миру [3, 7, 8], что мотивирует многочисленные исследования условий термического комфорта в различных регионах в условиях меняющегося климата. Особое внимание уделяется анализу адаптационной способности населения к некомфортным погодным условиям, поскольку тепловой комфорт и дискомфорт в основном определяют самочувствие и работоспособность человека. Экстремальные температуры, резкие колебания погодных условий приводят к риску ухудшения здоровья и безопасности населения [1, 11, 14, 16, 17, 21].

Тепловой комфорт характеризует состояние организма с оптимальным уровнем физиологических функций, при этом человек не чувствует ни жары, ни холода [12]. Организм человека непрерывно вырабатывает тепло для поддержания постоянной температуры. Тем не менее, когда теплообмен между организмом и окружающей средой несбалансирован, накопление тепла приводит к повышению температуры, в то время как дефицит тепла приводит к переохлаждению организма [15].

На сегодняшний день существует значительное количество исследований, посвященных анализу термического комфорта в городских ландшафтах, на примере крупных городов СНГ и зарубежья [1, 14, 16], при этом все еще существуют значительные неопределенности оценок как прошлых, так и будущих изменений теплового комфорта [23, 32, 33]. Однако комфортность погодно-климатических условий на территории Казахстана изучена лишь в отдельных регионах, в частности в Актюбинской области, южных районах Казахстана, в г. Астана [4, 18, 19], а исследования в основном касаются экстремально жарких условий [9, 10]. Комплексных оценок условий комфортности для всей Республики Казахстан не существует. При этом данные метеонаблюдений свидетельствуют о значительной суровости климата и больших сезонных амплитудах метеорологических характеристик в республике: разность между абсолютными максимумами и минимумами температур в Астане составляет около 93°C, а абсолютный минимум температуры, зафиксированный на территории республики 5 января 1893 г., достиг –51,6°C [6]. Астана, где наблюдения ведутся 152 года, признана одной из самых холодных столиц в мире. Дискомфорт зимних условий усиливается сильными ветрами, наблюдаемыми в холодное время года. Максимальная средняя скорость ветра за доступный период наблюдений, зафиксированная в Астане, составляет 36 м/с [30].

Необходимо отметить, что в недавнем исследовании [25] была выполнена комплексная оценка условий термического комфорта для всей территории Северной Евразии, включающей в себя Республику Казахстан. Создана региональная база данных значений и трендов шести индексов термического комфорта North Eurasian Thermal Comfort Indices Dataset (NETCID), выполнены оценки повторяемости различных градаций теплового и холодового стресса, исследована их пространственная и временная изменчивость, в том числе долгопериодные тренды. Данное исследование базировалось на данных реанализа ERA-Interim. Однако в данном исследовании не проводился региональный анализ условий комфорта для отдельных городов с детализацией сезонного хода по всем месяцам года.

При этом, принимая во внимание очень большую временную и пространственную изменчивость условий термического комфорта по всему Казахстану, отсутствие обобщенных исследований термического комфорта для страны и значительные социальные и экономические последствия экстремальных погодных условий для

региона, представляется важной и актуальной научно-практической задачей оценка повторяемости условий теплового и холодового стресса в Республике Казахстан и анализ их многолетней временной изменчивости за период с доступными данными наблюдений для конкретных городов на основании данных наблюдений на метеостанциях, так как данные реанализов во многом сглаживают анализируемые поля метеохарактеристик, существенно занижая наблюдавшиеся экстремумы. Последние исследования показывают, что на территории Казахстана отмечаются значимые тренды метеорологических характеристик, в первую очередь температуры воздуха и осадков, обусловленные глобальными тенденциями изменения климата [20, 35]. Эти тренды имеют неоднородный характер и различаются как в зависимости от региона, так и от сезона года. В связи с этим встает вопрос о возможном влиянии наблюдающихся тенденций изменения климата на условия термического комфорта на территории Казахстана.

Целью настоящего исследования является комплексный анализ изменений условий термического комфорта на территории Республики Казахстан по данным станционных наблюдений. Они определяются двумя основными факторами: долгопериодными трендами метеохарактеристик, определяющих термический комфорт, и изменчивостью синоптических условий в каждый конкретный год исследуемого периода. Неоднородность климатических и географических условий на территории Казахстана приводят к существенным различиям как синоптических ситуаций, так и долговременных трендов в разных регионах Казахстана, что, в свою очередь, определяет неоднородный характер изменений термического комфорта в пределах республики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования

Казахстан расположен в центральной части Азиатского континента и является девятой по величине страной на планете (2.7 млн км²). Большая часть территории страны представляет собой низменности и равнины, с горными районами только на востоке и юго-востоке [29]. Расположение Казахстана в центре Азиатского континента обуславливает резкую континентальность климата и практическое отсутствие влияния океанов. Воздушные массы с Индийского и Тихого океанов почти не достигают этой территории. Атлантический океан оказывает наибольшее влияние на региональный климат из-за западного переноса влажных воздушных масс [30]. Климат Казахстана резко континентальный. На севере страны ежегодно выпадает 250–350 мм осадков, а в южных регионах — всего 100–120 мм. Средняя температура января составляет –15°C. Лето довольно жаркое, со средней максимальной температурой июля до 40°C в низменных степях и пустынных степях [30].

Данные

Исследования проводились по данным в 13 крупных городах Казахстана. Города были выбраны исходя из доступности данных (период доступных наблюдений составляет не менее пяти лет) и репрезентативности (климатические условия в городе являются репрезентативными для некоторой территории Казахстана). В их число вошли такие города как Актау, Актобе, Алматы, Астана, Атырау, Караганда, Кокшетау, Костанай, Кызылорда, Петропавловск, Тараз, Усть-Каменогорск и Шымкент.

В качестве исходных данных были использованы данные станционных наблюдений на территории Казахстана, представленные компанией ООО “Расписание

Погоды” за период 2005–2021 г. [13]. Дискретность наблюдений составляет 3 часа. Использованы данные о приземной температуре воздуха, скорости ветра, общем количестве облачности и относительной влажности. Во время анализа полученных данных обнаружилось, что на отдельных станциях существуют значительные пропуски. Все метеостанции разделились на станции с полными рядами данных, имеющими частичные пропуски и станции со значительными пропусками. Важным этапом работы стало устранение неточности и редактирование таблиц исходных данных.

Для анализа температурных трендов были использованы данные из веб-приложения “Climate at a Glance” NOAA [28]. Приложение предназначено для визуализации климатической статистики по всему миру и содержит, среди прочего, аномалии приземной температуры воздуха. Данные о температуре получены из двух реанализов: Глобальной исторической климатологической сети (среднемесячные данные) — GHCN-M версия 4 [27] и Международного комплексного набора данных об океане и атмосфере (ICADS) версия 5 [24] за период с 1880 г. по настоящее время и основаны на наблюдениях с более чем 26000 станций. Аномалии рассчитаны путем удаления сезонного цикла, усредненного за 1981–2010 г. (референтный период, используемый во многих климатических исследованиях). Далее были рассчитаны тренды температурных аномалий (в °C за десятилетие) за исследуемый период (2005–2021). Тренды температуры точки росы и скорости ветра были рассчитаны по данным архива Copernicus Climate Change Service (CCCS) Climate Data Store [22] по аналогичной методике.

Методы

Для анализа условий термической комфортности в городах Казахстана было выбрано два индекса: для холодного периода ветро-холодовой индекс (Wind Chill Index — WCI); для теплого периода — физиологически эквивалентная температура (Physiological Equivalent Temperature — PET). Данный выбор обусловлен следующими причинами. Основными факторами, обуславливающими дискомфорт в холодное полугодие в Республике Казахстан, являются низкие температуры и высокие скорости ветра, именно эти характеристики входят в WCI. Однако в теплое полугодие влияние на условия термического комфорта также оказывают влажность воздуха, балл облачности и радиационный баланс, в большей степени, чем зимой. Кроме того, значительное влияние на состояние термического комфорта человека оказывают процессы метаболизма в организме. Все эти факторы учитываются при расчете индекса PET. Метаболизм безусловно оказывает влияние и в холодный период года. Однако в холодный период доминирующее влияние на ощущение комфорта оказывает одежда человека, что делает расчет PET для зимнего периода достаточно субъективным, так как существует неопределенность в выборе параметра, описывающего одежду. В связи с этим было принято решение для холодного периода использовать индекс, не зависящий от одежды, то есть WCI. В летний период, особенно для условий достаточно жарких, анализируемых в работе, можно принять параметр одежды постоянным, соответствующим легкой одежде.

Расчет ветро-холодового индекса для холодного полугодия

Для оценки условий термического комфорта в холодное полугодие (октябрь–март) использовался ветро-холодовой индекс:

$$WCI = 13.12 + 0.6215 \times t - 11.37 \times U^{0.16} + 0.3965 \times t \times U^{0.16}.$$

где t — приземная температура воздуха в °C, U — приземная скорость ветра в км/час (на стандартной высоте 10 м). Индекс используется как способ определения жестко-

сти погодных условий, а именно оценивается субъективное ощущение человека при одновременном воздействии мороза и ветра. Формула рассчитана на среднестатистического человека, не подверженного вирусным, инфекционным и другим заболеваниям и одетого по погоде. На основании исследований Антарктики Пол Сейпл разделил значения индекса на три градации: умеренная зона, зона нарастающей опасности, опасная зона [31]. Канадская шкала значений ветро-холодового стресса увеличила число градаций рисков обморожения (табл. 1).

Таблица 1. Градации ветро-холодового стресса. Взято из [34]

Table 1. Grades of Wind-Chill Index, from [34]

Опасность для здоровья согласно WCI, в °C	
< 0.0	Риск обморожения или переохлаждения отсутствует
0.0...–10.0	Небольшой риск обморожения
–10.0...–28.0	Небольшой риск обморожения и переохлаждения
–28.0...–40.0	Средний риск переохлаждения и обморожения открытых участков кожи в течение 10–30 минут
–40.0...–48.0	Высокий риск переохлаждения и обморожения открытых участков кожи в течение 5–10 минут
–48.0...–55.0	Очень высокий риск переохлаждения и обморожения открытых участков кожи в течение 2–5 минут
< –55.0	Крайне высокий риск переохлаждения и обморожения открытых участков кожи менее чем в течение 2 минут

В настоящем исследовании рассматривались две градации WCI: значения в интервале $-28.0^{\circ}\text{C} \dots -40.0$ — средний риск переохлаждения и $< -40.0^{\circ}\text{C}$ — высокий, очень высокий и крайне высокий риск переохлаждения.

***Расчет индекса физиологически эквивалентной температуры (PET)
для теплого полугодия***

Для определения термического комфорта в теплое полугодие (апрель–сентябрь) рассчитывалась физиологически эквивалентная температура (PET). Индекс соответствует физиологической температуре, при которой температура воздуха поддерживает тепловой баланс человека в условиях нормальной комнатной температуры, с учетом температуры кожи и внутренних органов. Параметр определяется как мера теплоощущения человека, находящегося в состоянии покоя (табл. 2). Расчет термических параметров производится с помощью модели MEMI, с учетом уравнения теплового баланса:

$$M + W + R + C + ED + ERe + ESe + ESw + S = 0.$$

где M — метаболизм, W — теплоотдача при физической нагрузке, R — радиационный баланс, C — конвективный поток тепла, ED — скрытый поток тепла, расходуемый потоотделением, $ERe + ESe$ — сумма тепловых потоков для нагревания и увлажнения вдыхаемого воздуха, ESw — поток тепла, расходуемый на испарение пота, S — поток тела, который сохраняется для нагревания или охлаждения массы тела [19].

Преимуществом эквивалентно физиологической температуры является то, что она учитывает не только метеорологические параметры, но и тепловой баланс на поверхности кожи человека, а также температуру внутренних органов, интенсивность потоотделения, влажность кожи.

Таблица 2. Градации условий теплового стресса по физиологически эквивалентной температуре (PET). Взято из [20]

Table 2. Grades of heat stress according to Physiological Equivalent Temperature (PET), from [20]

Индекс PET	Теплоощущение человека	Класс физиологического воздействия
<4 °C	Крайне холодно	Экстремальный холодовой стресс
4–7.9 °C	Очень холодно	Сильный холодовой стресс
8–12.9 °C	Холодно	Умеренный холодовой стресс
13–17.9 °C	Прохладно	Слабый холодовой стресс
18–22.9 °C	Комфортно	Отсутствие теплового воздействия
23–27.9 °C	Умеренно тепло	Легкое тепловое воздействие
28–34.9 °C	Тепло	Умеренное тепловое воздействие
35–40.9 °C	Жарко	Сильное тепловое воздействие
>41 °C	Очень жарко	Экстремальное тепловое воздействие

Расчет индекса PET осуществлялся с помощью программного обеспечения RayMan [25]. Индекс термического комфорта рассчитывался для среднестатистического человека мужского пола со следующими параметрами: рост 175 сантиметров, вес 75 килограмм, возраст 35 лет. Для теплого периода было предусмотрена теплоизоляция в 0.9 Clo, что соответствует легкой одежде, привычной для летнего сезона. Так как нас интересовали условия термического дискомфорта, то были рассмотрены две градации PET: 28...34.9 °C (умеренное тепловое воздействие) и выше 35 °C (сильное и экстремальное тепловое воздействие).

Далее рассчитано количество случаев превышения пороговых значений для рядов vento-холодового индекса и PET. При расчетах не учитывались повторяющиеся превышения в течение суток. Таким образом, полученное количество случаев превышений пороговых значений эквивалентно количеству дней, когда наблюдался холодовой или тепловой стресс определенной градации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Территорию республики Казахстан можно разделить на 5 регионов, характеризующихся сильно отличающимися географическими и климатическими условиями. Данное деление было предложено Н.Н. Баранским [2]. В нашем исследовании были проанализированы условия холодового и теплового стресса в следующих городах этих регионов: Северный Казахстан — Петропавловск, Астана, Кокшетау, Костанай; Центральный Казахстан — Караганда; Западный Казахстан — Актау, Атырау, Актобе; Восточный Казахстан — Усть-Каменогорск; Южный Казахстан — Алматы, Шымкент, Тараз, Кызылорда.

Пространственно-временное распределение условий холодового стресса

В течение анализируемого периода условия холодного стресса (средний риск обморожения) были зарегистрированы во всех регионах Казахстана, за исключением Шымкента; высокий риск обморожения отмечен в Северном, Центральном и Восточном Казахстане, с единичными случаями в южном и западном регионах. Максимальное количество дней, когда были превышены пороговые значения, приходится на январь и февраль по всему Казахстану. Однако в определенные годы первая часть холодного сезона (ноябрь—декабрь) может быть холоднее, чем вторая

часть (январь—февраль). Минимум наблюдается в марте и в ноябре, в октябре случаев превышения пороговых значений не зафиксировано, поэтому данный месяц на рисунках не представлен. Анализ выявил значительную неоднородность условий холодового стресса на территории страны.

В Северном Казахстане было зафиксировано максимальное количество дней с превышением пороговых значений (рис. 1). Самым холодным городом является Астана, где средняя за период наблюдений повторяемость условий среднего и высокого риска обморожения составляет 27 дней за шесть месяцев холодного полугодия, а в 2010 г. достигла 55 дней, то есть почти треть холодного полугодия. В Петропавловске также часто отмечаются условия холодового стресса (средняя повторяемость 22.2 дня за 6 месяцев и 53 дня в 2018 году). В Костаное наименьшая повторяемость средних рисков обморожения (13.8 дня в среднем за период наблюдений), высокий риск обморожения за анализируемый период зафиксирован только дважды.

Центральный (Караганда) и Восточный (Усть-Каменогорск) Казахстан (рис. 2) характеризуются суровыми зимними условиями, однако повторяемость средних и высоких рисков обморожения несколько меньше, чем в северном регионе (19.8 и 18.9 дней в среднем за холодное полугодие соответственно). Максимальное количество превышений в Караганде достигло 53 дня в 2012 г. и 34 дня в 2010 г. в Усть-Каменогорске.

Запад Казахстана характеризуется более комфортными климатическими условиями в холодное полугодие (рис. 3). В Актау и Атырау даже средний риск обморожения фиксируется очень редко (средняя повторяемость 0.5 и 1.1 день в году соответственно), в Актобе он несколько выше (11.6 дней в году). Высокий риск обморожения ($WCI < -40^{\circ}\text{C}$) в Западном Казахстане наблюдался шесть раз в течение 2005–2021 г. только в Актобе. Однако в отдельные годы повторяемость градации $-28^{\circ}\text{C} < WCI < -40^{\circ}\text{C}$ может достигать 28 дней (Актобе, 2010 г.).

Южный Казахстан является регионом, наименее подверженным холодовому стрессу (рис. 2). Однако в Кызылорде отмечалось до 20 дней со средним риском обморожения зимой 2012 г. и даже зафиксирован случай с высоким риском обморожения, в Таразе условия холодового стресса составили максимум 6 дней в году, в Алматы зафиксирован только один случай, а в Шымкенте рисков обморожения за исследуемый период не наблюдалось.

Анализ сезонного распределения превышений пороговых значений показал, что практически во всех анализируемых городах максимальная повторяемость как среднего, так и высокого риска обморожения приходится на январь. Исключение составляют Караганда и Костанай, где в феврале наблюдается незначительное превышение по сравнению с январем.

Пространственное распределение условий холодового стресса представлено на рис. 4. Можно выделить очевидное увеличение повторяемости условий холодового стресса с юга на север и с запада на восток. Высокие риски обморожений регулярно отмечаются только в Северном, Центральном и Восточном Казахстане, в Южном и Западном они единичны. Самыми холодными городами на юге и западе являются Кызылорда и Актобе.

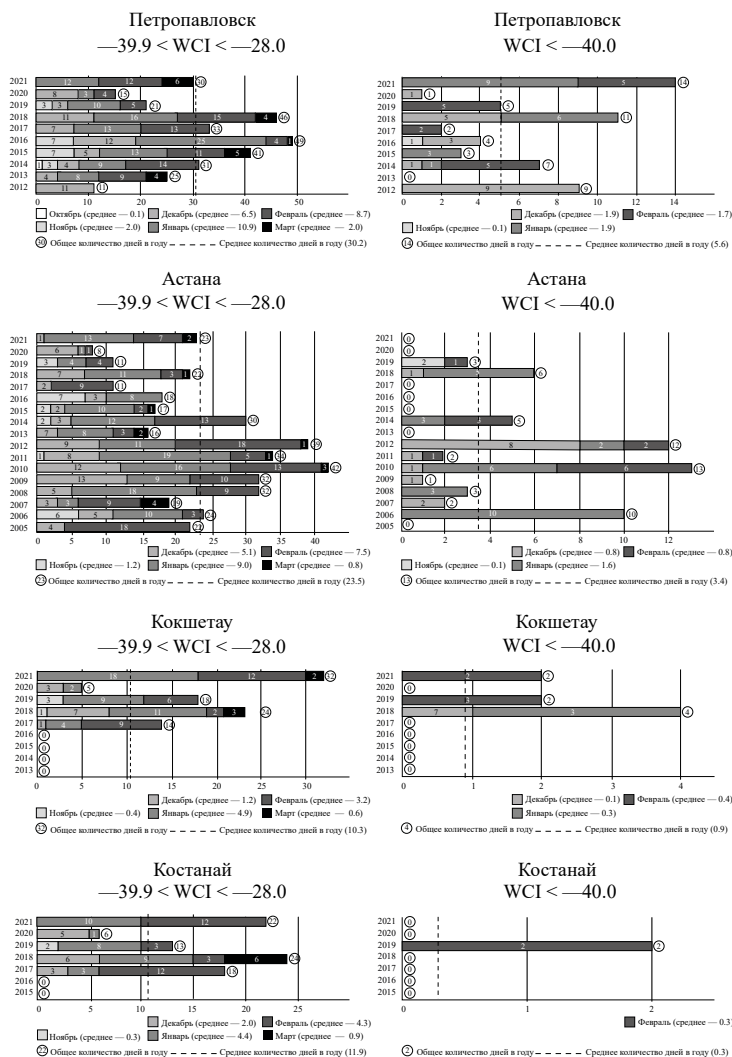


Рис. 1. Количество дней со значениями WCI в двух градациях: $-28.0...-40.0^{\circ}\text{C}$ (левый столбец) и $< -40.0^{\circ}\text{C}$ (правый столбец) для городов Северного Казахстана (Астаны, Петропавловска, Костаная и Кокшетау) в холодный период (ноябрь–март). Октябрь не представлен на графиках, так как для него не зарегистрировано ни одного случая попадания в градации среднего и высокого риска обморожений. Различными оттенками серого показаны данные для месяцев с ноября по март. Внутри каждого месяца дано количество дней с попаданиями в конкретную градацию. Справа дано общее количество дней с попаданием в данную градацию за все месяцы холодного полугодия в конкретный год, вертикальной пунктирной линией показано среднее количество дней с данной градацией WCI за доступный период наблюдений. Период наблюдений различается по городам, максимальный охват 2005–2021 гг.

Fig. 1. The number of days with WCI values in two grades: $-28.0...-40.0^{\circ}\text{C}$ (left column) and $< -40.0^{\circ}\text{C}$ (right column) for the cities of Northern Kazakhstan (Astana, Petropavlovsk, Kostanay and Kokshetau) during the cold period (November–March). October is not represented on the charts, as no cases with medium and high risk of frostbite have been registered for it. Data for the months from November to March are shown with various shading. Within each month, the number of days of each grade is presented. On the right, the total number of days falling into this gradation for all months of the cold period in a particular year is given, the vertical dotted line shows the average number of days with this WCI gradation for the available observation period. The observation period varies by cities, the maximum coverage is 2005–2021.

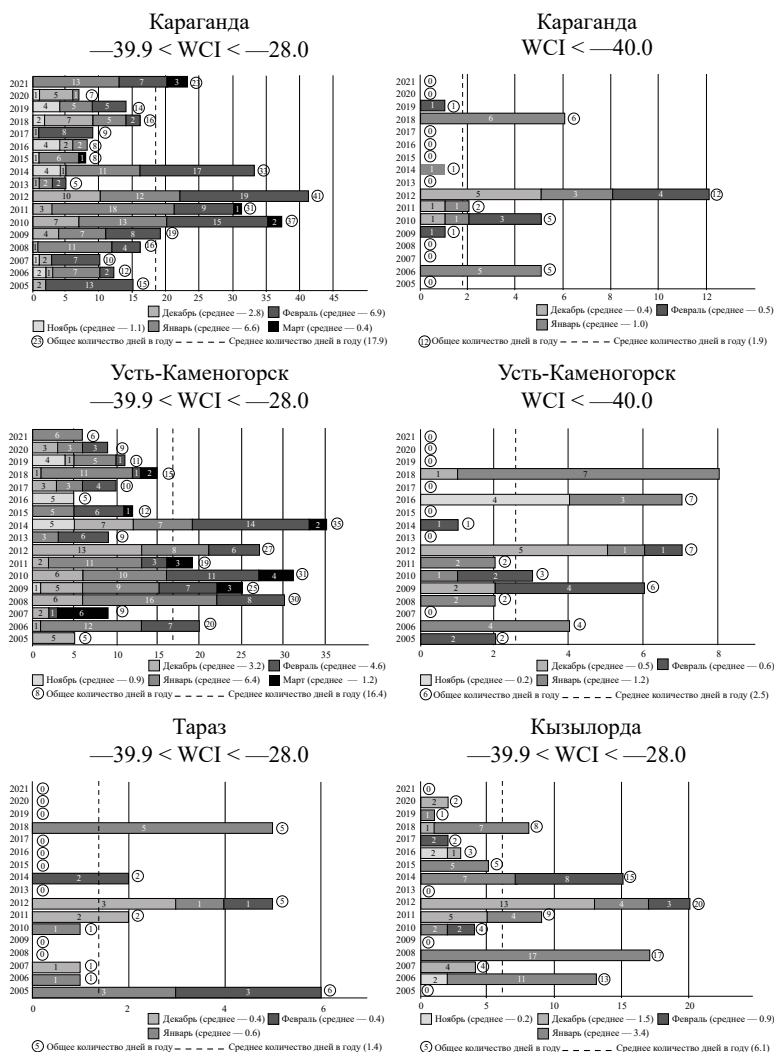


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для городов Центрального (Караганда), Восточного (Усть-Каменогорск) и Южного (Тараз и Кызылорда) Казахстана. Для городов Южного Казахстана представлена только градация —28.0...—40.0°C, так как случаев WCI < —40.0°C в этих городах не зафиксировано. Города Алматы и Шымкент не представлены, так как в них отмечены единичные случаи попадания в данные градации или не отмечено случаев вообще.

Fig. 2. The same as in Figure 1, but for the cities of Central (Karaganda), Eastern (Ust-Kamenogorsk) and Southern (Taraz and Kyzylorda) Kazakhstan. For the cities of Southern Kazakhstan, only a grade —28.0...—40.0°C is presented, since no cases of WCI < —40.0°C have been recorded in these cities. The cities of Almaty and Shymkent are not presented, as isolated cases or no cases at all were registered.

Пространственно-временное распределение условий теплового стресса

За рассмотренный период 2005–2021 гг. умеренное и сильное тепловое воздействие отмечено во всех исследуемых городах в течение теплого полугодия, с минимальной повторяемостью в апреле (рис. 5–8). Максимальная повторяемость условий теплового стресса регистрируется в летние месяцы (июль–август) по всей территории Казахстана. Основная доля термически комфортных дней выпадает повсеместно на май и сентябрь.

Даже северный регион Казахстана не может быть отнесен к термически комфортному в летний сезон, так как средняя повторяемость условий умеренного теплового стресса в среднем превышает 30 дней за год во всех городах, с максимумом в Астане (38.7 дней), а сильного теплового стресса 20 дней в году (за исключением Кокшетау, где она составляет 14 дней) с максимумом 25.4 дня в Костаное (рис. 5). Максимальная повторяемость сильного теплового стресса составила 19 дней в июле 2019 года и была отмечена в Петропавловске. Однако в отдельные годы в июле и августе не фиксируется ни одного дня с тепловым стрессом в городах Северного Казахстана.

В Центральном регионе условия умеренного и сильного теплового стресса близки к Северному Казахстану (рис. 6). Однако абсолютный максимум несколько ниже и составляет 15 дней за год. В Караганде так же, как и в северных городах, максимальное число дней с тепловым стрессом отмечается в июле.

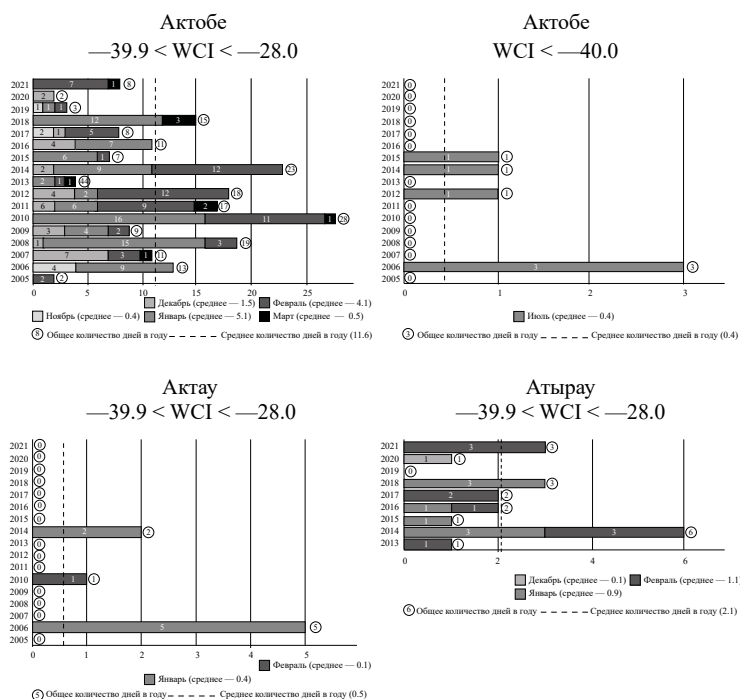
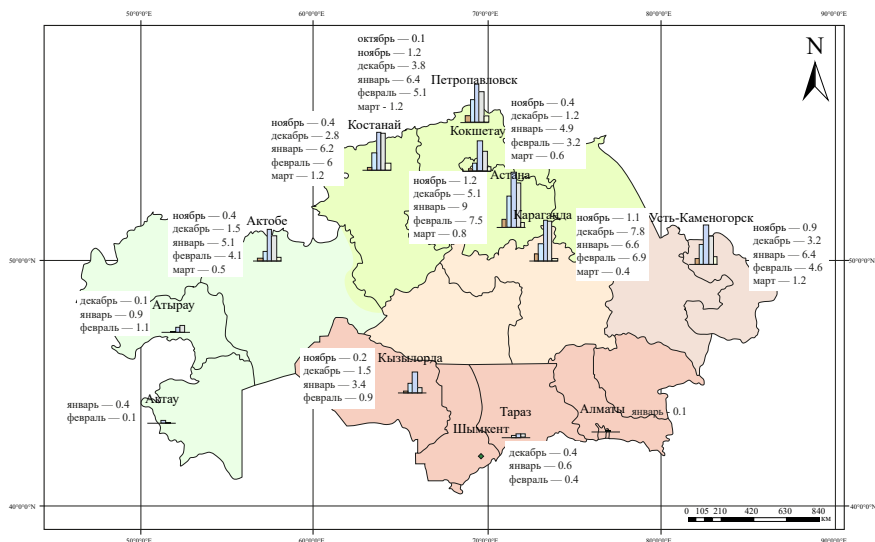


Рис. 3. То же, что на рис. 1, но для городов Западного Казахстана (Актау, Атырау, Актобе). Для городов Актау и Атырау представлена только градация —28.0...—40.0°C, так как случаев WCI < —40.0°C в этих городах не зафиксировано.

Fig. 3. The same as in Figure 1, but for the cities of Western Kazakhstan (Aktau, Atyrau, Aktobe). For the cities of Aktau and Atyrau, only a grade of —28.0...—40.0°C is presented, since no cases of WCI < —40.0°C have been recorded in these cities.

(А)



(Б)

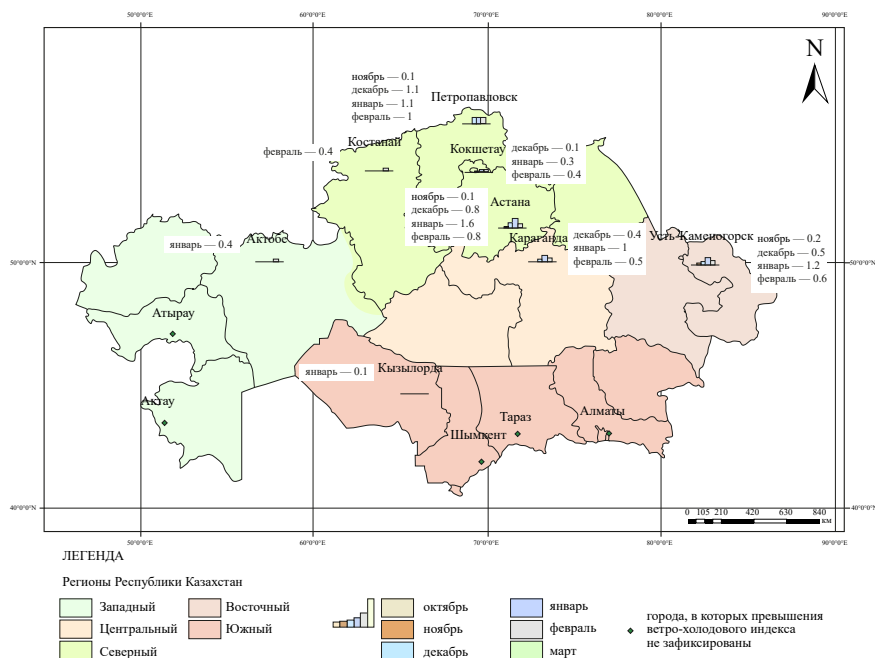


Рис. 4. Распределение среднего количества дней в месяц с $-39.9^{\circ}\text{C} < \text{WCI} < -28^{\circ}\text{C}$ (а) $\text{WCI} < -40^{\circ}\text{C}$ (б) в холодное полугодие на территории Казахстана. Осреднение произведено по периоду наблюдений, доступному для каждого города.

Fig. 4. Distribution of the month averaged number of days with $-39.9^{\circ}\text{C} < \text{WCI} < -28^{\circ}\text{C}$ (a) $\text{WCI} < -40^{\circ}\text{C}$ (б) in cold period in Kazakhstan. Averaged over the period with available observations for each city.

В Восточном Казахстане тепловой стресс наблюдается значительно чаще, чем на севере и в центре (рис. 6). Средняя повторяемость умеренного теплового воздействия составляет 46.4 дня, что является максимумом среди всех исследуемых городов, а сильного теплового воздействия — 59 дней. Сильное термическое воздействие наблюдается во все месяцы теплого периода с преобладанием летних месяцев. В июле количество дней с сильным термическим воздействием варьируется

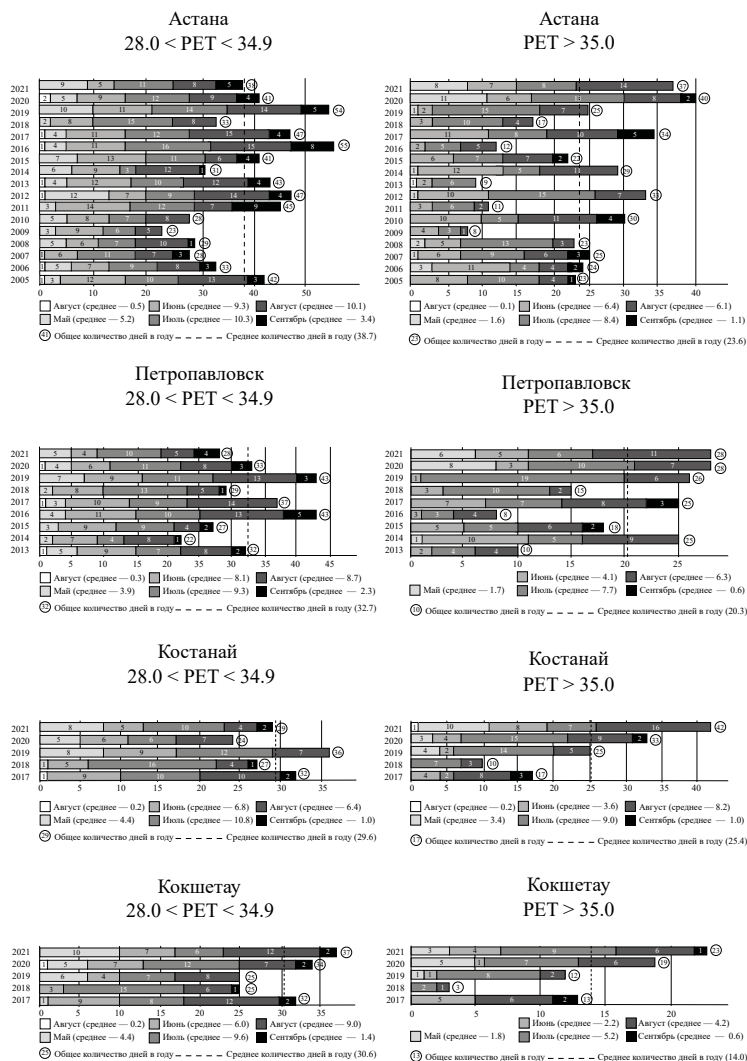


Рис. 5. Количество дней с значениями PET в двух градациях: 28.0...34.9°C (левый столбец) и >35.0°C (правый столбец) для городов Северного Казахстана (Астаны, Петропавловска, Костаная и Кокшетау) в теплый период (апрель–сентябрь). Различными оттенками серого показаны данные для месяцев с апреля по сентябрь. Описание легенды см. рис. 1.

Fig. 5. The number of days with PET values in two grades: 28.0...34.9°C (left column) and > 35.0°C (right column) for the cities of Northern Kazakhstan (Astana, Petropavlovsk, Kostanay and Kokshetau) during the warm period (April–September). Data for the months from April to September are shown with various shading. The legend is the same as in Fig. 1.

от 7 до 25 дней. В июне, июле и августе количество дней с сильным термическим воздействием значительно больше, чем с умеренным термическим воздействием, и даже в сентябре часто достигает 10 дней за месяц.

Западный Казахстан представляет собой район с очень высокой вероятностью сильного термического воздействия (рис. 7). Причем максимальное количество дней с сильным тепловым стрессом приходится на август и составляет от 26 до 28 дней.

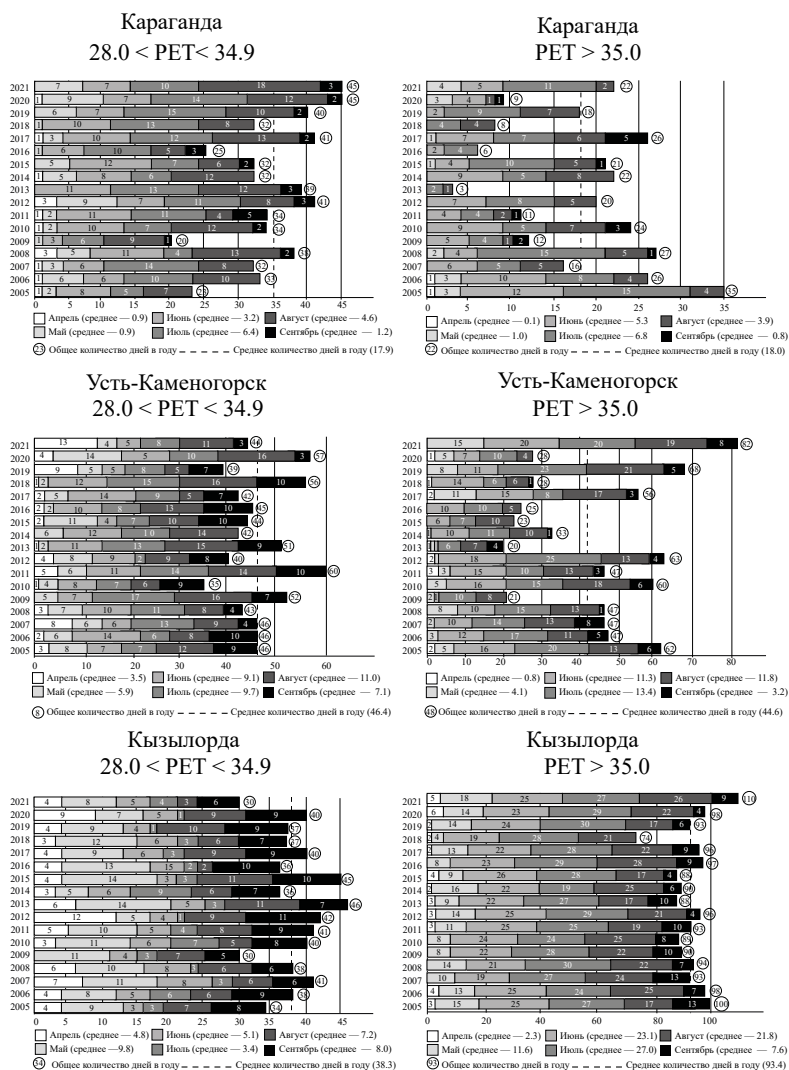


Рис. 6. То же, что на рис. 5, но для городов Центрального (Караганда), Восточного (Усть-Каменогорск) и Южного (Кызылорда) Казахстана.

Fig. 6. The same as in Fig. 5, but for the cities of Central (Karaganda), Eastern (Ust-Kamenogorsk) and Southern (Taraz, Kyzylorda) Kazakhstan.

Таким образом, в отдельные годы практически в течение целого месяца термические условия в городах Западного Казахстана относятся к сильному термическому воздействию и представляются опасными для здоровья населения.

В городах Южного региона во все летние месяцы преобладают дни с сильным термическим воздействием ($PET > 35^{\circ}C$) с максимумом в июле (рис. 8). Во всех городах, за исключением Тараза, в июне, июле и августе число дней с сильным тепловым стрессом превышает 20, достигая в отдельные годы 30 и 31 дня, то есть охватывает все дни месяца. В Таразе июнь и август отличаются немного более комфортными условиями. В остальные месяцы теплого полугодия в Южном Казахстане доминируют дни с умеренным тепловым воздействием. То есть на протяжении всего теплого полугодия практически не отмечается комфортных условий с точки зрения теплового воздействия.

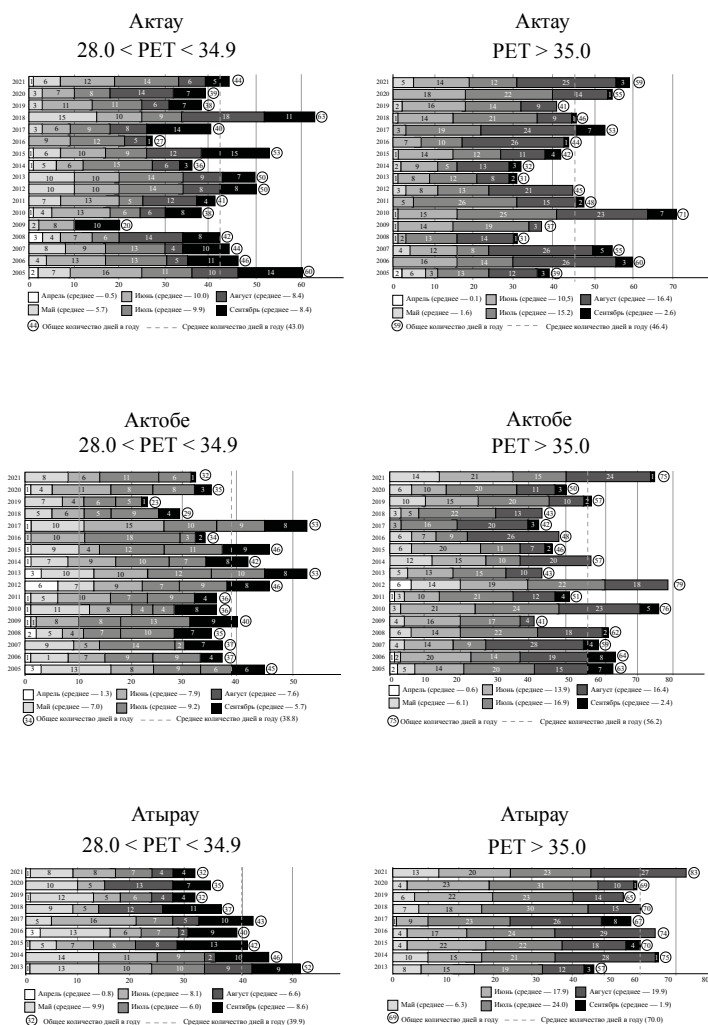


Рис. 7. То же, что на рис. 5, но для городов Западного Казахстана (Актау, Актобе, Атырау).
Fig. 7. The same as in Figure 5, but for the cities of Western Kazakhstan (Aktau, Aktobe, Atyrau).

Пространственное распределение умеренного теплового воздействия характеризуется максимумом летом в Северном, Центральном, Западном и Восточном Казахстане и весной — в Южном (рис. 9а). Последнее обусловлено тем, что летом на юге преобладает сильное тепловое воздействие. Исключение составляет Атырау, где умеренное тепловое воздействие преобладает весной. Причина более жарких условий в Атырау — влияние пустынного ландшафта, в котором вследствие отсутствия затрат на испарение все тепло радиационного баланса расходуется на прогрев воздуха. С другой стороны, увеличение влажности воздуха в прибрежном районе также приводит к увеличению значений РЕТ.

Сильное тепловое воздействие ($PET > 35^{\circ}C$) наблюдается во всем Казахстане, и максимум везде приходится на летние месяцы, что закономерно. Наиболее термически дискомфортным месяцем для всех регионов страны является июль (рис. 9б).

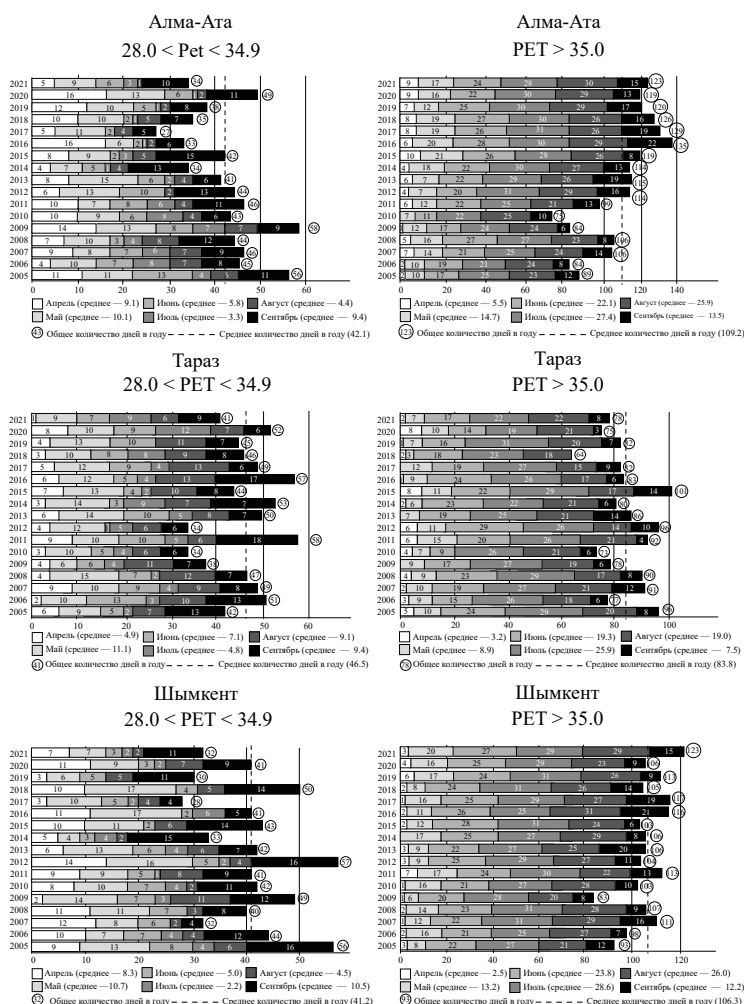


Рис. 8. То же, что на рис. 5, но для городов Южного Казахстана (Алматы, Тараз, Шымкент).

Fig. 8. The same as in Figure 5, but for the cities of Southern Kazakhstan (Almaty, Taraz, Shymkent).

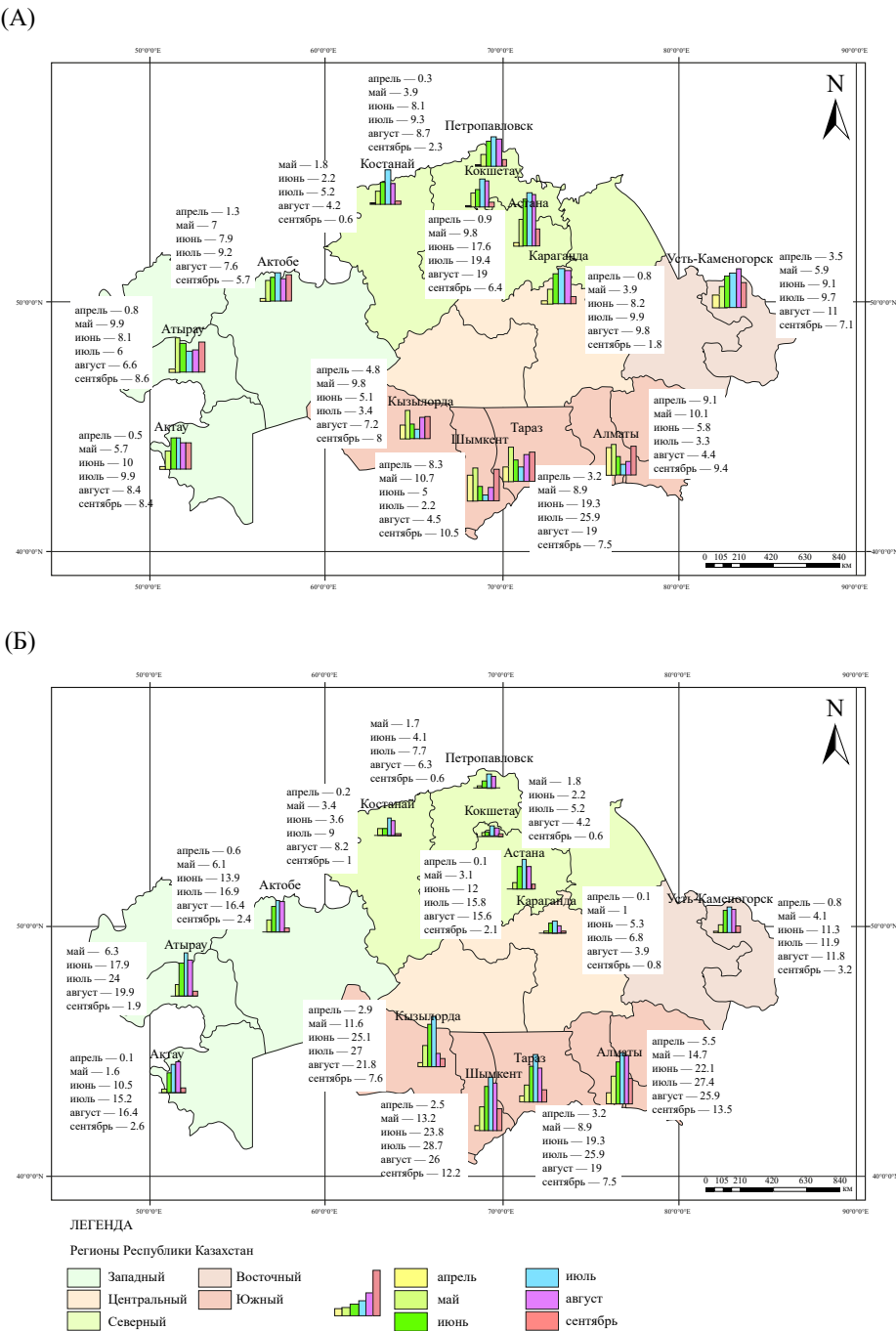


Рис. 9. Распределение среднего количества дней в месяц с $28^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 34.9^{\circ}\text{C}$ (а), $\text{PET} > 35^{\circ}\text{C}$ (б) в теплое полугодие на территории Казахстана. Осреднение произведено по периоду наблюдений, доступному для каждого города.

Fig. 9. Distribution of the month averaged number of days with $28^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 34.9^{\circ}\text{C}$ (a), $\text{PET} > 35^{\circ}\text{C}$ (б) in warm period in Kazakhstan. Averaged over the period with available observations for each city.

За период 2005–2021 гг. в городах Костанай, Петропавловск, Кокшетау, Астана, Караганда, Атырау, Актау в апреле не было зафиксировано сильного термического воздействия. В то же время отмечены единичные случаи сильного воздействия в следующих городах: Актобе, Кызылорда, Шымкент, Усть-Каменогорск, Тараз. Сильное термическое воздействие в сентябре характерно для южного региона.

ОБСУЖДЕНИЕ

На погодные условия в Казахстане в холодное полугодие в первую очередь влияют западная адвекция относительно теплых воздушных масс с Атлантики, периодические вторжения холодных арктических масс с севера и распространение на территорию страны гребня Сибирского антициклона с северо-востока. Последнее приводит к экстремально низким температурам в результате радиационного охлаждения при ясном небе. Горы на юге, юго-востоке и востоке страны препятствуют проникновению холодных воздушных масс в южные регионы Казахстана [5]. Отопляющее влияние на западе страны оказывает Каспийское море. Такая совокупность циркуляционных процессов обуславливает специфику пространственного распределения условий холодового стресса на территории Казахстана. Четко прослеживается усиление термического дискомфорта в направлении с юга на север и с запада на восток. В первом случае доминирующую роль играют условия радиационного и теплого баланса, в первую очередь – увеличение радиационного баланса с севера на юг в условиях относительно однородного распределения облачности (незначительное количество в холодное полугодие вследствие доминирования антициклональной погоды) на территории Казахстана. Поэтому максимальная повторяемость рисков обморожения наблюдается на севере страны, минимальная – на юге. Усиление термического дискомфорта с запада на восток является следствием, с одной стороны, отопляющего влияния Каспийского моря и более частой адвекции теплых атлантических воздушных масс в теплых секторах южных циклонов в западных регионах, с другой стороны – проникновения с востока на запад отрога Сибирского антициклона, что увеличивает повторяемость экстремально низких температур на востоке страны. В связи с этим Западный Казахстан характеризуется относительно низкой повторяемостью рисков среднего и высокого обморожения, с максимумом в Актобе, имеющем самое северное расположение. Менее суровый климат в Костанайе, по сравнению с другими городами северного региона, может быть результатом его более западного расположения, а следовательно, более слабого влияния отрога Сибирского антициклона, который простирается с северо-востока на юго-запад страны. Результаты, полученные в настоящем исследовании, полученные по данным станционных наблюдений согласуются с результатами работы [25], в которой по данным реанализа также прослеживается увеличение повторяемости условий холодового стресса с юга на север и с запада на восток Казахстана. Однако региональные особенности для отдельных городов по результатам реанализа выявлены не были.

Представляет интерес сравнить межгодовую изменчивость условий холодового стресса с выявленными трендами метеорологических характеристик, входящих в формулу ветро-холодового индекса (таблица 3). В большинстве городов за исследуемый период (2005–2021 гг.) наблюдался положительный тренд температуры воздуха, в городах севера и центра Казахстана зафиксирован отрицательный тренд. Однако тренда в количестве случаев холодового стресса в большинстве городов

не наблюдается, а выделяются отдельные более холодные или более теплые года. Это указывает на то, что специфические синоптические условия, складывающиеся в конкретный год рассматриваемого периода, оказывают доминирующее влияние на термический комфорт по сравнению с долгопериодными трендами, в том числе и трендом глобального потепления. Рост зимних температур может частично компенсироваться увеличением скорости ветра, которое отмечено во всех регионах Казахстана в зимний период. Увеличение влажности воздуха также приводит к усилению холодового стресса, однако в используемый в данной работе индекс WCI влажгосодержание не входит.

Исключение составляет Юго-Западный Казахстан (города Актау и Атырау), где зафиксированы максимальные положительные тренды температуры в холодный период и где отмечается явное уменьшение количества случаев холодового стресса в последнее десятилетие.

Даже в пределах одного региона максимальное количество превышений порогов холодового стресса приходится на разные годы и разные месяцы зимнего сезона, что также свидетельствует о доминирующей роли конкретных синоптических условий, вызывающих экстремально низкие температуры воздуха. Однако можно выделить самые холодные годы для большей части территории Казахстана: 2010, 2012, 2014 и 2018.

В теплое время года на распределение повторяемости условий теплового стресса как во времени (распределение по месяцам), так и в пространстве (распределение по территории республики) доминирующее влияние оказывает радиационный

Таблица 3. Тренды метеорологических характеристик по регионам Казахстана, холодный период. Рассчитано по [22]

Table 3. Trends of meteocharacteristics in Kazakhstan, cold period. Based on [22] data

Регион	Город	Тренд за период 1979–2021/2005–2021 гг.		
		Температура воздуха, °C	Температура достижения точки росы, °C	Скорость ветра, м/с
Северный	Астана	0.25/0.19	0.1/0.3	–0.2/0.4
	Петропавловск	0.26/–0.21	0.2/0.1	0.01/0.56
	Костанай	0.29/0	0.1/0.1	–0.28/0.7
	Кокшетау	0.26/–0.21	0.39/0.2	–0.2/0.26
Центральный	Караганда	0.17/–0.21	0.56/0.04	0.1/0.65
Восточный	Усть-Каменогорск	0.14/0.26	0.48/0.99	0.12/0.35
Южный	Алматы	0.3/–0.09	0.8/0.02	0.001/0.1
	Тараз	0.17/0.09	1.6/–0.2	–0.07/0.04
	Кызылорда	0.30/0.16	0.34/0.21	–0.05/0.2
	Шымкент	0.25/0.16	1.25/–0.2	0.12/0.1
Западный	Актобе	0.39/–0.06	0.66/0.52	–0.42/0.36
	Актау	0.52/0.72	0.8/0.001	0.04/0.01
	Атырау	0.52/0.57	1.28/0.4	0.15/0.1

фактор. Роль циркуляционных процессов существенно снижается по сравнению с холодным полугодием. Отмечается возрастание количества дней с сильным тепловым воздействием в направлении с севера на юг, при этом изменений в направлении с запада на восток не прослеживается. Это связано с ослаблением западного переноса в летний период, который обеспечивает адвекцию воздушных масс с Атлантики, а также с отсутствием в теплое полугодие Сибирского антициклона. Аналогичные закономерности были получены и в [25] по данным реанализа, но без детализации по отдельным месяцам теплого полугодия и городам. В целом, в теплое полугодие на территории Казахстана преобладает малоградиентное барическое поле, которое обеспечивает формирование местных воздушных масс с высокой температурой в приземном слое в результате интенсивного радиационного нагрева. Соответственно, максимальные температуры отмечаются при максимальных значениях радиационного баланса, которые приходятся на июль и имеют большие значения в южных регионах. Сохранение условий сильного теплового воздействия в августе, а в южных регионах и в сентябре обусловлено значительным прогревом подстилающей поверхности и инертностью ее остывания. Относительно мелководное Каспийское море в теплое полугодие также сильно прогревается и не оказывает значительного охлаждающего воздействия на западные регионы Казахстана. Несколько меньшие температуры воздуха по сравнению с районами, удаленными от моря, компенсируются более высокими значениями влажности, которые увеличивают РЕТ. Резкие изменения условий погоды в теплое полугодие могут быть связаны с циклонами на полярном фронте. Однако это явление достаточно редкое и имеет стохастическую природу, как и вся циклоническая деятельность. Возможно влияние как атлантических циклонов, приходящих с запада, так и мургабских и верхнеамударьинских, приходящих с юга. Наблюдается перемещение циклонов и с севера на юг [5]. Северные районы более подвержены влиянию циклонов, что способствует уменьшению количества дней с умеренным и сильным тепловым воздействием в теплое полугодие.

Рассматривая межгодовую изменчивость теплового воздействия по территории Казахстана можно заключить, что наиболее выражено усиление термического воздействия в городах северного региона и в Усть-Каменогорске (Восточный Казахстан). В Западном Казахстане также отмечается некоторое увеличение термического дискомфорта к концу исследуемого периода, но только для сильного теплового воздействия. В Южном и Центральном Казахстане явной тенденции не прослеживается, а выделяются отдельные более жаркие и более прохладные годы. Увеличение повторяемости дней с умеренным и сильным тепловым воздействием можно объяснить положительными трендами аномалий температуры приземного воздуха в регионах (табл. 4) и положительными трендами влагосодержания. Частично это компенсируется увеличением средней скорости ветра.

В рамках исследования было установлено, что географические и климатические особенности регионов создают неоднородные условия термического комфорта по территории Казахстана. Представляло интерес сравнить повторяемость термического дискомфорта в холодное и теплое полугодие, а также оценить суммарное количество дней с рисками холодового и теплового стресса в городах Казахстана (табл. 5 и 6). В холодное полугодие самым дискомфортным регионом является Северный Казахстан. А максимальное среднегодовое количество дней с холодовым стрессом отмечается в столице — Астане (27 дней). На втором месте идет Петропавловск. В теплое полугодие наиболее подвержен тепловому стрессу южный регион с макси-

Таблица 4. Тренды метеорологических характеристик по регионам Казахстана, теплый период. Рассчитано по [22]**Table 4.** Trends of meteorocharacteristics in Kazakhstan, warm period. Based on [22] data

Регион	Город	Тренды за период 1979–2021/2005–2021 гг.		
		Температура воздуха, °C	Температура достижения точки росы, °C	Скорость ветра м/с
Северный	Астана	0.28/0.35	0.11/0.15	0.01/0.15
	Петропавловск	0.30/0.23	0.7/–0.34	–0.02/0.13
	Костанай	0.34/0.11	0.25/–0.29	0.04/0.12
	Кокшетау	0.30/0.23	0.3/–0.32	–0.001/0.18
Центральный	Караганда	0.23/0.04	0.54/0.14	–0.002/0.26
Восточный	Усть–Каменогорск	0.30/0.26	–0.17/0.43	0.06/0.05
Южный	Алматы	0.4/0.09	0.9/–0.68	1.1/1.1
	Тараз	0.23/0.19	0.6/0.23	0.02/0.01
	Кызылорда	0.39/0.40	–0.48/0.36	0.1/0
	Шымкент	0.40/0.40	–0.48/–1.6	0.32/0.32
Западный	Актобе	0.36/0.15	–0.72/–1.2	–0.14/0.18
	Актау	0.64/0.62	0.82/–0.1	–0.2/0.15
	Атырау	0.64/0.42	–0.09/–1.15	–0.01/0.4

мальной повторяемостью сильного и умеренного теплового воздействия в Алматы и Шымкенте (151 и 147 дней соответственно). Если суммировать количество дней с превышениями пороговых значений за теплый и холодный период, то к самым термически дискомфортным относятся города Южного Казахстана Алматы и Шымкент, а самыми термически комфортными являются Кокшетау и Костанай. Также необходимо отметить, что количество дней с превышениями порога холодового стресса значительно меньше, чем теплового. Таким образом, несмотря на то, что Казахстан традиционно считается страной с очень суровыми зимними условиями, мы видим, что определяющим в условиях термического комфорта в республике является летний период. Однако необходимо учитывать, что данное разделение выполнено симметрично относительно 0°C, что, возможно, не совсем корректно с точки зрения ощущений человеческого организма. Кроме того, сравнение выполнено для двух разных индексов термического комфорта. Однако сравнение по одному индексу (например, PET) тоже не может дать однозначных результатов, так как в данный индекс входит параметр одежды человека, и совершенно очевидно, что этот параметр различается по сезонам и по регионам. Например, у жителей Южного Казахстана, как правило, нет исключительно теплой одежды, поэтому при одинаково низких зимних температурах они будут, скорее всего, испытывать больший холодовой стресс, нежели жители северных регионов республики.

Таблица 5. Количество дней с превышениями пороговых значений для ветро-холодового индекса за период наблюдений, доступный в каждом городе; средние значения по доступному периоду наблюдений

Table 5. Number of days with wind-chill index exceeding the thresholds for the whole available period of observation in cities of Kazakhstan; the mean value averaged over the period of available data

Город / общее количество дней, используемых для расчета	Ветро-холодовой индекс					
	−39,9°С < WCI < −28°С (средний риск переохлаждения)		WCI < −40°С (высокий, очень высокий риск и крайне высокий риск переохлаждения)		WCI < −28°С (превышение порога среднего риска переохлаждения)	
	Общее количество попаданий в градацию	Среднее количество попаданий в градацию в год	Общее количество превышений порога	Среднее количество превышений порога в год	Общее количество превышений порога	Среднее количество превышений порога в год
Астана/3115	400	23.5	57	3.5	457	27
Петропавловск/1833	302	18.9	56	3.3	358	22.2
Костанай/916	83	13.8	2	0.2	85	14
Кокшетау/916	93	18.6	8	1.6	101	20.2
Қарағанда/3115	304	17.9	33	1.9	337	19.8
Усть-Каменогорск/3115	278	16.4	42	2.5	320	18.9
Шымкент/3115	0	0	0	0	0	0
Тараз/3115	23	1.4	0	0	23	1.4
Алматы/3115	1	0.06	0	0	1	0.06
Қызылорда/3115	103	6.1	1	0.01	104	6.11
Ақтау/3115	8	0.5	0	0	8	0.5
Ақтобе/3115	198	11.6	6	0.4	204	12
Атырау/1649	19	1.1	0	0	19	1.1

Таблица 6. Количество дней с превышениями пороговых значений для PET за период наблюдений, доступный в каждом городе; средние значения по доступному периоду наблюдений

Table 6. Number of days with PET exceeding the thresholds for the whole available period of observation in cities of Kazakhstan; the mean value averaged over the period of available data

Город / общее количество дней, используемых для расчета	Физиологически-эквивалентная температура					
	28°C < PET < 34.9 °C (умеренное тепловое воздействие)		PET > 35°C (сильное и экстремальное тепловое воздействие)		Превышение порога умеренного теплового воздействия (PET > 28°C)	
	Общее количество попаданий в градацию	Среднее количество попаданий в градацию в год	Общее количество превышений порога	Среднее количество превышений порога в год	Общее количество превышений порога	Среднее количество превышений порога в год
Астана/3111	658	38.7	402	23.6	1060	62.3
Петропавловск/1647	294	32.6	183	20.3	477	52.9
Костанай/915	148	29.6	127	25.4	275	55
Кокшетау/915	153	30.6	70	14	223	44.6
Караганда/3111	586	34.5	306	18	892	52.5
Усть-Каменогорск/311	788	46.4	1004	59	1792	105.4
Шымкент/3111	701	41	1807	106.3	2508	147.3
Тараз/3111	790	46.5	1424	83.7	2214	130.2
Алматы/3111	715	42	1856	109	2571	151
Кызылорда/3111	651	38.3	1587	93.4	2238	131.7
Актау/3111	744	43.7	789	46.4	1533	90.1
Актобе/3111	659	38.7	956	56.2	1615	94.9
Атырау/1647	359	40	630	70	989	110

Безусловно важной задачей дальнейших исследований является оценка влияния наблюдаемых изменений климата на условия термического комфорта на территории Казахстана. Частично такие оценки были сделаны в данном исследовании. Однако они лимитированы относительно короткими рядами наблюдений. В ряде городов длина ряда метеоданных 17 лет, что составляет чуть больше половины традиционного периода климатического осреднения (30 лет), а значит, не может считаться репрезентативным для получения климатических оценок. Более того, в отдельных городах ряды еще короче и не превышают 5 лет. Накопление данных наблюдений позволит не только получать более статистически достоверные оценки изменений, но и проводить сравнения между климатическими периодами. На настоящий момент эта задача может решаться с использованием данных реанализов, которые для температуры воздуха имеют относительно небольшие отклонения от данных наблюдений. В частности, в работе [25] такие оценки были сделаны, и обнаружен статистически значимый тренд повторяемости условий сильного теплового стресса почти на всей территории Казахстана с максимумом в западных регионах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ пространственно-временного распределения условий термического комфорта в городах Казахстана. Основой для исследования стали данные метеорологических наблюдений на территории Казахстана, предоставленные компанией ООО “Расписание Погоды” за период с 2005 по 2021 г. для 13 городов Республики Казахстан: Астана, Петропавловск, Кокшетау, Костанай, Караганда, Усть-Каменогорск, Атырау, Актобе, Актау, Кызылорда, Шымкент, Тараз и Алматы. Исследование проводилось для теплого и холодного полугодий.

В качестве оптимального показателя термического комфорта для холодного периода был выбран ветро-холодовой индекс (WCI), учитывающий совокупное влияние температурного и ветрового факторов, и проанализированы две его градации: средний риск обморожения ($-39.9^{\circ}\text{C} < \text{WCI} < -28^{\circ}\text{C}$) и высокий риск обморожения ($\text{WCI} < -40^{\circ}\text{C}$). Для теплого полугодия использована физиологически эквивалентная температура (PET), учитывающая температуру воздуха, скорость ветра, относительную влажность, радиационный баланс, облачность и физиологические особенности среднестатистического человека, также для двух градаций: умеренное тепловое воздействие ($28^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 34.9^{\circ}\text{C}$) и сильное тепловое воздействие ($35^{\circ}\text{C} < \text{PET}$).

Высокие риски обморожений зафиксированы в Северном, Восточном и Центральном Казахстане. Они обусловлены влиянием южного отрога Сибирского антициклона. Высокие риски обморожений не наблюдались за анализируемый период в Актау, Шымкенте и Алматы. Актау испытывает отепляющее влияние Каспийского моря, тогда как Алматы и Шымкент защищены горами от холодных вторжений.

Сезонное распределение условий холодного стресса меняется в зависимости от региона и рассматриваемой градации. Однако максимальное количество случаев холодного стресса всех градаций приходится на январь и февраль, минимум — на март, а в октябре холодовой стресс на территории республики не зафиксирован.

Сильное термическое воздействие зафиксировано во всех регионах Казахстана в течение всех 6 месяцев теплого полугодия с разной продолжительностью и регулярностью. Максимальная повторяемость превышения индекса PET $+35^{\circ}\text{C}$ установлена в таких городах как Алматы, Шымкент, Тараз, Кызылорда, Актау, Актобе,

Атырау, Усть-Каменогорск. В теплое полугодие в северном и центральном регионе преобладает умеренное термическое воздействие.

Анализ пространственного распределения холодового стресса показал возрастание дискомфорта с юга на север и с запада на восток, что определяется доминирующими в зимний период синоптическими процессами: распространение отрога Сибирского антициклона на центральные и восточные районы Казахстана, адвекция теплого воздуха с запада и обогревающее воздействие Каспийского моря. Анализ пространственного распределения теплового воздействия показал возрастание дискомфорта с севера на юг, что обусловлено в первую очередь радиационным балансом. Таким образом, пространственное распределение термического комфорта определяется преимущественно циркуляционными условиями в зимний период и радиационными условиями — в летний, что в целом характерно для континентальных типов климата.

Межгодовая изменчивость условий холодового стресса не имеет выраженного тренда и носит нерегулярный характер, обусловленный особенностями синоптических процессов в конкретный год. Таким образом, проявления эффекта глобального потепления, проявляющегося в снижении суровости зим, на территории Казахстана за исследуемый период не обнаружено, за исключением Западного Казахстана, где положительный тренд температуры соответствует уменьшению количества дней с холодовым стрессом к концу исследуемого периода. В теплый период, наоборот, в большинстве исследованных городов количество дней с сильным тепловым воздействием к концу периода возрастает в соответствии с положительным трендом температуры.

Показано, что самыми термически комфортными городами Казахстана стали города Северного Казахстана Кокшетау и Костанай. К самым термически дискомфортным относятся города Южного Казахстана Алматы и Шымкент. Таким образом, несмотря на то, что Казахстан традиционно считается страной с очень суровыми зимними условиями, в данном исследовании показано, что определяющим в условиях термического комфорта в республике является летний период.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья выполнена в рамках бюджетной темы AAA-A21-121051400081-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев Ф. Т., Смирнова М. Д., Родненков О. В. Жара и сердечно-сосудистая система // М.: Практика, 184 стр.
2. Баранский Н. Н. География СССР: Учебник для средней школы. М.: Учпедгиз, 1933.
3. Бардин М. Ю., Ранькова Е. А., Платова Т. В., Самохина О. Ф., Антипина У. И. Обзор текущего состояния и климатических изменений на территории Российской Федерации. Использование и защита природных ресурсов в России 2020. 3 (163):69–77.
4. Беку Б., Насынбаева А. С. Оценка биоклиматических условий юга и юго-востока Казахстана // Гидрометеорология и экология. 2013. № 1, С. 65–72.
5. Бугаев В. А., Джорджио В. А., Козик Е. М., Петросянец М. А. и др., Синоптические процессы Средней Азии. Ташкент: Изд. АН УССР, 1957. 535 с.
6. Вилесов Е. Н. Характеристики климата города Астана и их изменения за последние 90 лет. // Гидрометеорология и экология. 2017, № 3, С. 7–16.

7. Вильфанд Р. М., Шумерова В. А., Тищенко В. М., Хан В. М. Основные особенности крупномасштабной атмосферной циркуляции в контексте анализа консенсус-прогноза температуры воздуха и осадков на лето 2020 года в Северном полушарии // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 1 (379). С. 20–35.
8. Говоркова В. А., Катцов В. М. Изменения климата стран “ближнего зарубежья” России в 21-м веке // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, 2008. № 558. С. 64–84.
9. Кожяхметова Е. П., Кожяхметов П. Ж. Об изменении температурного режима Астаны и ее окрестностей // Гидрометеорология и экология. 2014. № 1, С. 7–13.
10. Кошелева О. Ю., Шинкаренко С. С., Гордиенко О. А., Омаров Р. С., Дубачева А. А. Сезонные и многолетние особенности температуры поверхности в городах засушливой зоны (на примере городов юго-востока европейской части России и Западного Казахстана) // Известия НВ АУК. 2021. № 3(63), С. 426–439. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-03-44>
11. Кузнецова И. Н., Звягинцев А. М., Семутникова Е. Г. Экологические последствия погодных аномалий летом 2010 года // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года: сборник докладов совместного заседания Президиума Научно-технического совета Росгидромета и Научного совета РАН “Исследования по теории климата Земли” / Под ред. Н. П. Шакиной. — М.: Росгидромет, РАН, 2011. — С. 59–64.
12. Мягков М. С., Губернский Ю. Д., Конова Л. И., Литкевич В. К. Город, архитектура, человек и климат // М.: Архитектура, 2007, 344 с.
13. Погода в Казахстане в 5200 пунктах, ООО “Расписание погоды”. URL: <https://rp5.ru/> (Дата обращения: 21.10.2021–03.11.2021).
14. Ревич Б. А., Шапошников Д. А. Особенности воздействия волн холода и жары на смертность в городах с резко-континентальным климатом // Сибирское медицинское обозрение. — 2017. — № 2 (104). — С. 84–90.
15. Сенкова А. Д. Микроклимат помещений и здоровье человека. — Т.: ТГНУ, 2011. С. 320–323.
16. Ткачук С. В. Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности // Труды Гидрометцентра России. — 2012. — Вып. 347. С. 223–245.
17. Шапошников Д. А. О некоторых подходах к вычислению рисков температурных волн для здоровья / Д. А. Шапошников, Б. А. Ревич // Анализ риска здоровью. 2018, № 1, С. 22–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.03>
18. Шкуринский Б. В. Изучение комфортности погодно-климатических условий территории Актыубинской области // Гидрометеорология и экология. 2015, № 4, С. 17–25.
19. Berlessova A. A., Konstantinov P. I. Local climate zones in the city of Nur-Sultan (Kazakhstan) and their connections with urban heat island and thermal comfort // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 611.
20. Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI) // Geogr Pol 862013.2013. Vol. 1, pp. 5–10.
21. Cianconi P., Betrò S., Janiri L. The Impact of Climate Change on Mental Health: A Systematic Descriptive Review. // Frontiers in psychiatry. 2020, Vol. 11, p. 11–74. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00074>
22. Copernicus Climate Change Service. ECMWF. Climate Data Store: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/ecv-for-climate-change?tab=overview> (дата обращения: 07.10.2022–01.02.2023).

23. Haines A., Kovats R. S., Corvalan C. Climate change and human health: impacts, vulnerability, and public health // *Public Health*. 2006. Vol. 120 (7), p. 585–596.
<https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.01.002>
24. Huang B., Peter W. Thorne, Viva F. Banzon, Tim Boyer, Gennady Chepurin, Jay H. Lawrimore, Matthew J. Menne, Thomas M. Smith, Russell S. Vose, and Huai-Min Zhang (2017): NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), Version 5. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://doi.org/10.7289/V5T72FNM>
25. Konstantinov P. I., Varentsov M. I., Shartova N. V. (2022): North Eurasian thermal comfort indices dataset (NETCID): new gridded database for the biometeorological studies // *Environ. Res. Lett.* 17085006, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac7fa9>
26. Matzarakis A, Wetterdienst D, Rutz F, Matzarakis A., Rutz F. 2007 Rayman: a tool for tourism and applied climatology microclimate and quality of living environment: a precedent of overcrowded settlements in bandung view project online (available at: www.researchgate.net/publication/228503669)
27. Menne M. J., Williams C. N., Gleason B. E., Rennie J. J., Lawrimore J. H. The Global Historical Climatology Network Monthly Temperature Dataset, Version 4, *Journal of Climate*, 31(24), 9835–9854. Retrieved Feb 16, 2022.
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/31/24/jcli-d-18-0094.1.xml>
28. National Center for Environmental Information. Climate at a glance.
<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/> (дата обращения 07.10.2022–01.02.2023).
29. Pilifosova, O. V., Eserkepova, I. B., Dolgih S. A. REGIONAL CLIMATE CHANGE SCENARIOS UNDER GLOBAL WARMING IN KAZAKHSTAN. // *Climatic Change*. 1997. Vol. 36, pp. 23–40. <https://doi.org/10.1023/A:1005368404482>
30. Salnikov V., Turulina G., Polyakova S., Petrova Y., Skakova A. Climate Change in Kazakhstan during the Past 70 Years // *Quat. Int.* 2015, Vol. 358, p. 77–82.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.008>
31. Sörlin S. Cryo-History: Narratives of Ice and the Emerging Arctic Humanities. In *The new Arctic*, Stockholm: 2015, p. 327–339
32. Stedman R. G. Norms of apparent temperature in Australia // *Australian Meteorological Magazine*. 1994, Vol. 43, pp. 1–16.
33. Toronto Public Health. Health Impact of Cold Weather. Technical Report. 2014. pp. 2–6.
34. Wind Chill information: www.ec.gc.ca/meteo-weather
35. Zheleznova I. V., Gushchina D. Yu., Meiramov Z., Olchev A. V. Temporal and spatial variability of dryness conditions in Kazakhstan during 1979–2021 based on reanalysis data // *CLIMATE*. 2022. Vol. 10, no. 10. p. 144.

Spatial and Temporal Variability of the Thermal Comfort Conditions in Kazakhstan

D. Yu. Gushchina^{1,*}, Z. T. Muhtarova^{2, **}

¹*Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geography,
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

²*Department of Ecology and Nature Management, Kazakhstan Branch of Lomonosov
Moscow State University, Astana, Kazakhstan*

*E-mail: dasha155@mail.ru

**E-mail: zhanelmkhtrva@gmail.com

Abstract — The investigation of cold stress conditions in Kazakhstan is motivated by the lack of generalized studies of thermal comfort for the country, the high social and economic consequences of extreme cold conditions for the region and the observed significant trends in air temperature and precipitation in the region. Basing on 3-hour data for 13 cities of Kazakhstan the seasonal cycle and spatial distribution of thermal comfort over the territory of Kazakhstan were analyzed. The wind-chill index (WCI) was used to assess cold stress, and the physiologically equivalent temperature (PET) was used for the warm period. It was shown that the coldest region of Kazakhstan is the North with the maximum amount of days with cold stress conditions in Astana and Petropavlovsk. The maximum number of days with cold stress occurs in January and February, the minimum is in March, and in October cold stress is not recorded on the territory of the Republic. High heat stress was recorded in all regions of Kazakhstan during all 6 months of the warm half-year. The maximum repeatability of high heat stress (PET index exceeding $+35^{\circ}\text{C}$) is documented in Almaty and Shymkent. The spatial distribution of thermal comfort is governed mainly by atmosphere circulation in winter and radiation conditions in summer, which is characteristic of continental climate. The interannual variability of cold stress conditions has no pronounced trend and is irregular due to the specific of synoptic processes in a particular year. During the warm period in most cities, the number of days with high thermal stress increases toward the end of the period in accordance with the positive temperature trend.

It was revealed that the most thermally comfortable cities in Kazakhstan are Kokshetau and Kostanay, the most thermally uncomfortable ones are Almaty and Shymkent. It is shown that despite the fact that Kazakhstan is traditionally considered as a country with severe winter conditions, the summer period is the dominant factor for the conditions of thermal discomfort in the Republic.

Keywords: Kazakhstan, thermal comfort, wind-chill index, physiological equivalent temperature

REFERENCES

1. Ageev F. T., Smirnova M. D., Rodnenkov O. V. Heat and cardiovascular system // M.: Praktika, 184 p.
2. Баранский Н. Н. География СССР: Учебник для средней школы. М.: Учпедгиз, 1933.
3. Bardin M. Yu., Rankova E. A., Platova T. V., Samokhina O. F., Antipina U. I. Review of the current state and climatic changes in the territory of the Russian Federation // Use and protection of natural resources in Russia. 2020. Vol. 3 (163), pp. 69–77.
4. Beku B., Nasynbayeva A. S. Assessment of bioclimatic conditions in the south and south-east of Kazakhstan // Hydrometeorology and ecology. 2013. No. 1, pp. 65–72.
5. Bugaev V. A., Giorgio V. A., Kozik E. M., Petrosyants M. A. et al., Synoptic processes of Central Asia. Tashkent: Ed. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1957. 535 p.
6. Vilesov E. N. Characteristics of the climate of Astana and their changes over the past 90 years. // Hydrometeorology and ecology. 2017, No. 3, pp. 7–16.
7. Vilfand R. M., Shumerova V. A., Tishchenko V. M., Khan V. M. The main features of large-scale atmospheric circulation in the context of the analysis of the consensus forecast of air temperature and precipitation for the summer of 2020 in the Northern hemisphere // Hydrometeorological studies and forecasts. 2021. No. 1 (379). pp. 20–35
8. Govorkova V. A., Kattsov V. M. Climate changes in the countries of the “near abroad” of Russia in the 21st century // Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov, 2008. No. 558. pp. 64–84.

9. Kozhakhmetova E. P., Kozhakhmetov P. J. On the change in the temperature regime of Astana and its environs // *Hydrometeorology and Ecology*. 2014. No. 1, pp. 7–13.
10. Kosheleva O. Yu., Shinkarenko S. S., Gordienko O. A., Omarov R. S., Dubacheva A. A. Seasonal and long-term features of surface temperature in cities of the arid zone (on the example of cities in the south-east of the European part of Russia and Western Kazakhstan) // *Izvestiya NV AUK*. 2021. No. 3(63), pp. 426–439. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-03-44>
11. Kuznetsova I. N., Zvyagintsev A. M., Semutnikova E. G. Ecological consequences of weather anomalies in the summer of 2010 // *Analysis of abnormal weather conditions in Russia in the summer of 2010: collection of reports of the joint meeting of the Presidium of the Scientific and Technical Council of Roshydromet and the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences “Research on the theory of the Earth’s climate”* / Ed..P. Shakina.— M.: Roshydromet, RAS, 2011. pp. 59–64.
12. Myagkov M. S., Gubernsky Yu. D., Konova L. I., Litkevich V. K. City, architecture, man and climate // M.: Architecture, 2007, 344 p.
13. Weather in Kazakhstan in 5200 points, LLC “Weather schedule”. URL: <https://rp5.ru/> (Date of reference: 10/21/2021–11/03/2021).
14. Revich B. A., Shaposhnikov D. A. Features of the impact of cold and heat waves on mortality in cities with a sharply continental climate // *Siberian Medical Review*. 2017. № . 2 (104). P. 84–90
15. Senkova A. D., Indoor microclimate and human health.— T.: TGNU, 2011. pp. 320–323.
16. Tkachuk S. V. Review of indices of the degree of comfort of weather conditions and their relationship with mortality rates // *Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia*. 2012. Issue 347. P. 223–245.
17. Shaposhnikov, D. A. On some approaches to calculating the risks of temperature waves for health / D. A. Shaposhnikov, B. A. Revich // *Health risk analysis*. 2018, No. 1, pp. 22–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.03>
18. Shkurinsky B. V. Studying the comfort of weather and climatic conditions of the territory of the Aktobe region // *Hydrometeorology and ecology*. 2015, No. 4, pp. 17–25.
19. Berlessova A. A., Konstantinov P. I. Local climate zones in the city of Nur-Sultan (Kazakhstan) and their connections with urban heat island and thermal comfort // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 611.
20. Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI) // *Geogr Pol* 862013.2013. Vol. 1, P. 5–10.
21. Cianconi P., Betrò S., Janiri L. The Impact of Climate Change on Mental Health: A Systematic Descriptive Review. // *Frontiers in psychiatry*. 2020, Vol. 11, p. 11–74. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00074>
22. Copernicus Climate Change Service. ECMWF: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/ecv-for-climate-change?tab=overview> (Date of reference: 07/10/2022–01/02/2023)
23. Haines A., Kovats R. S., Corvalan C. Climate change and human health: impacts, vulnerability, and public health // *Public Health*. 2006. Vol. 120 (7), p. 585–596. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.01.002>
24. Huang B., Peter W. Thorne, Viva F. Banzon, Tim Boyer, Gennady Chepurin, Jay H. Lawri-more, Matthew J. Menne, Thomas M. Smith, Russell S. Vose, and Huai-Min Zhang (2017): NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), Version 5. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://doi.org/10.7289/V5T72FNM>

25. Konstantinov P. I., Varentsov M. I. and Shartova N. V. (2022): North Eurasian thermal comfort indices dataset (NETCID): new gridded database for the biometeorological studies // *Environ. Res. Lett.* 17085006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac7fa9>
26. Matzarakis A, Wetterdienst D, Rutz F, Matzarakis A and Rutz F 2007 Rayman: a tool for tourism and applied climatology microclimate and quality of living environment: a precedent of overcrowded settlements in bandung view project online (available at: www.researchgate.net/publication/228503669)
27. Menne, M. J., Williams, C. N., Gleason, B. E., Rennie, J. J., & Lawrimore, J. H. The Global Historical Climatology Network Monthly Temperature Dataset, Version 4, *Journal of Climate*, 31(24), 9835–9854. Retrieved Feb 16, 2022.
<https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/31/24/jcli-d-18-0094.1.xml>
28. National Center for Environmental Information. Climate at a glance.
<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/> Date of reference: 07/10/2022–01/02/2023)
29. Pilifosova, O.V., Eserkepova, I.B. & Dolgih, S.A. REGIONAL CLIMATE CHANGE SCENARIOS UNDER GLOBAL WARMING IN KAZAKHSTAN.// *Climatic Change*. 1997. Vol. 36, pp. 23–40. <https://doi.org/10.1023/A:1005368404482>
30. Salnikov, V.; Turulina, G.; Polyakova, S.; Petrova, Y.; Skakova, A. Climate Change in Kazakhstan during the Past 70 Years // *Quat. Int.* 2015, Vol. 358, p. 77–82.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.008>
31. Sörlin S. Cryo-History: Narratives of Ice and the Emerging Arctic Humanities. In *The new Arctic*, Stockholm: 2015, p. 327–339
32. Stedman R.G. Norms of apparent temperature in Australia // *Australian Meteorological Magazine*. 1994, Vol. 43, pp. 1–16.
33. Toronto Public Health. Health Impact of Cold Weather. Technical Report. 2014. pp. 2–6.
34. Wind Chill information: www.ec.gc.ca/meteo-weather
35. Zheleznova I. V., Gushchina D. Yu., Meiramov Z., Olchev A. V. Temporal and spatial variability of dryness conditions in Kazakhstan during 1979–2021 based on reanalysis data // *CLIMATE*. 2022. Vol. 10, no. 10. p. 144.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гушина Дарья Юрьевна

Профессор, д.г.н., Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия.

e-mail: dasha155@mail.ru

тел: +7 903 121-59-22

Gushchina Daria Yurievna

Professor, doctor of geographical sciences, Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia,

e-mail: dasha155@mail.ru

tel: +7 903 121-59-22

Мухтарова Жанель Толеухановна

Студент, Казахстанский филиал МГУ имени М.В.Ломоносова, Астана, Казахстан.

e-mail: zhanelmkhtrva@gmail.com

Muhtarova Zhanel Toleuhanovna

Student, Department of Ecology and Nature Management, Kazakhstan Branch of Lomonosov Moscow State University, Astana, Kazakhstan.

e-mail: zhanelmkhtrva@gmail.com

УДК 551.345: [621.565.532:639 2] (571.121)

НОВОПОРТОВСКИЙ МЕРЗЛОТНИК — УНИКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ЯМАЛА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

© 2024 г. Л. П. Кузякин^{а, *}, С. А. Огородов^{а, **}, А. А. Маслаков^{а, ***},
Г. А. Кажукало^{а, ****}, Д. М. Богатова^{а, *****}

^аМосковский государственный университет имени М. В. Ломоносова (МГУ), Москва, Россия

*E-mail: kuziakina@geogr.msu.ru

**E-mail: ogorodov@geogr.msu.ru

***E-mail: alexey.maslakov@geogr.msu.ru

****E-mail: kazhukalo@geogr.msu.ru

*****E-mail: aleksyutina@geogr.msu.ru

Поступила в редакцию 17.05.2024 г.

После доработки 30.08.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

Новопортовский мерзлотник — крупнейшее хранилище в вечной мерзлоте на Ямале. В связи с климатическими изменениями и усиливающимся антропогенным воздействием вблизи мерзлотника активизируются деструктивные экзогенные процессы. За последние десятилетия в связи с увеличением глубины протаивания произошло обрушение двух из трех входов в мерзлотник, наблюдаются просадки и деформации кровли тоннелей. Углубление бухты Новый порт и ликвидация старых причалов и молов привели к усилению волнового воздействия на береговой уступ вблизи мерзлотника и к активизации термоабразии и термоденудации. Во время нагонов высота волн практически достигает входа в мерзлотник, из-за чего он может быть затоплен и разрушен. В связи с этим, для сохранения уникального объекта культурного наследия ЯНАО необходимо организовать мониторинг за природными процессами вблизи мерзлотника, а также разработать ряд мер для нивелирования воздействия негативных экзогенных процессов.

Ключевые слова: Обская губа, Новопортовский мерзлотник, техногенез в береговой зоне, геокриологический мониторинг, термоабразия, береговые процессы

DOI: 10.31857/S0869607124040078, **EDN:** MODUJO

ВВЕДЕНИЕ

Лёдник (“ice cellar”) — это форма хранения пищевых продуктов, при которой туннели и/или камеры выкапываются в вечной мерзлоте, которая используется в качестве пассивного охлаждения [17, 18, 27]. В некоторых случаях подобные объекты называют “мерзлотниками” [4,5]. Такие хранилища широко распространены в арктических районах Евразии и Северной Америки [20,26]. Достоверно известно, что лёдники использовались в качестве местной технологии хранения пищи как минимум тысячу лет назад в районе Берингова моря, что подтверждают радиоугле-

родные датировки китового мяса из заброшенного погреба в пос. Гамбелл, Аляска, США [14]. Традиционные погреба в мерзлоте, подобные обнаруженному в Гамбелле, варьируются по размеру от небольших камер (около 1 м³) до семейных погребов (около 10 м³). Они до сих пор распространены в Якутии [26] и на севере Аляски [20]. Реже встречаются общественные лёдники с несколькими камерами. Например, общественный погреб пос. в Туктояктук, Канада, построенный в конце 1960-х годов на государственное финансирование, состоит из трех коридоров с 19 боковыми комнатами (около 9 м³ каждая) [13]. Лёдники на востоке Чукотки, построенные в 1950—1960-е годы, достигают еще больших размеров: наиболее крупный в пос. Лорино имеет длину коридора 114 м и 14 камер с полезной площадью 330 м². Такие хранилища предназначены как для размещения продукции местных промысловых охотничьих хозяйств, так и в качестве кормовых складов для песцовых звероферм [17].

Лёдники на Ямале появились в связи с потребностями народного хозяйства в середине прошлого века [7]. Крупнейший из них (“Новопортовский мерзлотник”) был построен в поселке Новый Порт. Строительство шло под руководством Густава Юльевича Бекмана. Работы велись преимущественно силами спецпереселенцев и ссыльных. Долгие пять лет (с 1952 по 1956 г/в) в мерзлых породах топором и кайлом вырубались тоннели и штольни. Новопортовский мерзлотник (рис. 1) является уникальным объектом на Ямале, а также крупнейшим в мире лёдником, который был создан с использованием только ручного труда. Основная функция сооружения — обслуживание рыбного завода Нового Порта, в частности — хранение рыбных ресурсов в зимний и летний период. Несмотря на то что большинство “колхозных” лёдников к настоящему времени прекратили свое существование, Новопортовский мерзлотник продолжает нести свою службу. Однако значительное сокращение вылова рыбы в Обской губе в последние годы может привести к закрытию Новопортовского рыбзавода, и судьба мерзлотника может пойти по непредсказуемому пути. Тем не менее в 2012 году распоряжением правительства ЯНАО № 361-РП “Новопортовский мерзлотник” был включен в реестр объектов культурного наследия народов Российской Федерации.

Суммарная длина штолен составляет 1177 м, а объем мерзлотника — 19537 м³. Поселок долгое время являлся важнейшим центром рыбного промысла в Обской губе, а в настоящее время основной отраслью специализации поселка является нефтегазодобыча. В 1964 г. геологоразведочными экспедициями было открыто Новопортовское нефтегазоконденсатное месторождение [7]. Несмотря на весьма высокие выявленные запасы газа, решение о разработке месторождения было принято лишь в 2009 г., а полноценная эксплуатация началась лишь в 2014 г. Современное изменение климата [11] и социально-экономические проблемы угрожают устойчивости подземных сооружений в криолитозоне. Потепление климата оказывает влияние на состояние и интерьер мерзлотника. В тыловой части мерзлотника, расположенной непосредственно под поселком, из-за повышения температуры грунтов, увеличения глубины сезонного протаивания и снижения их несущей способности происходит просадка верхних и боковых сводов. Профиль штольни из аркообразного преобразовался в П-образный, что угрожает обрушением. Еще большую угрозу несет активизация береговых криогенных процессов со стороны Обской губы, ускорившихся в последние два десятилетия на фоне потепления и снижения ледовитости акватории. Сложенный льдистыми дисперсными грунтами береговой уступ, в котором, собственно, и заложены выходы из штолен, активно разрушается под

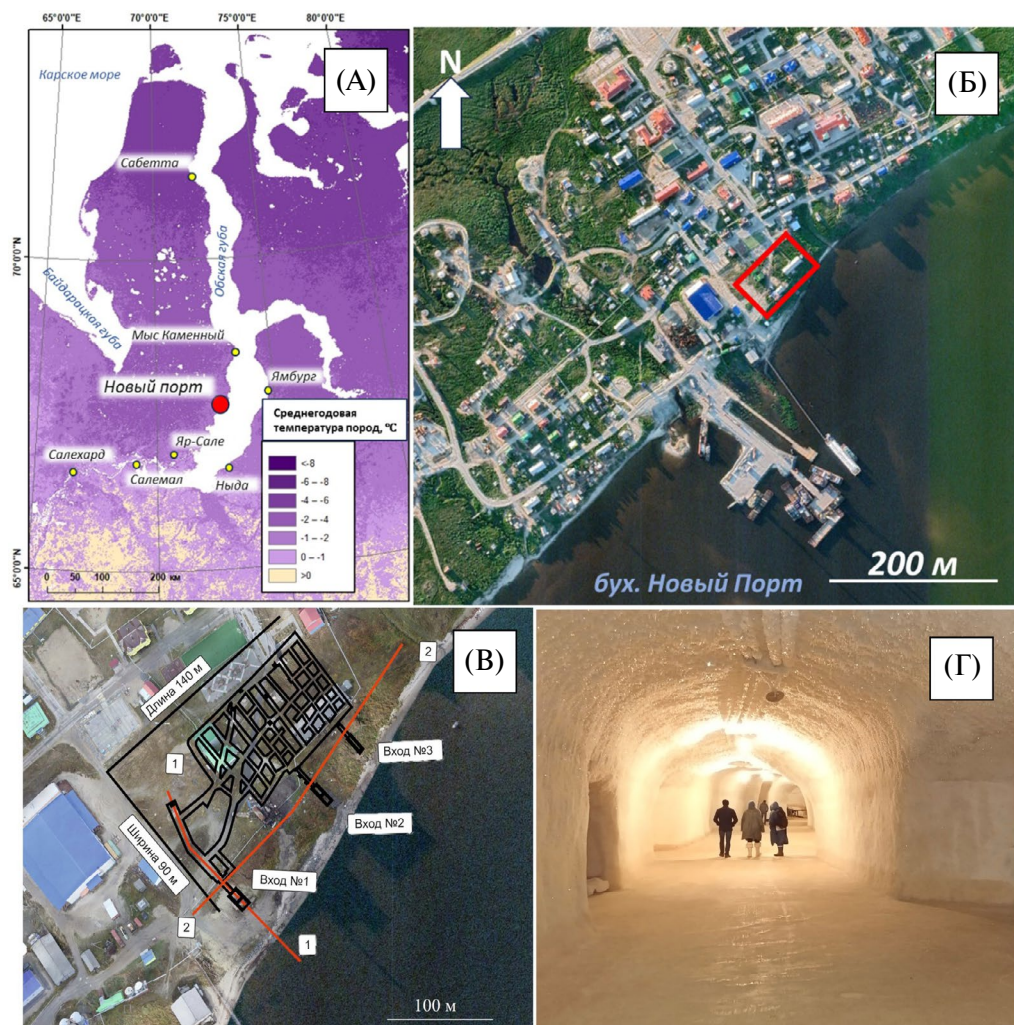


Рис. 1. А — Расположение поселка Новый порт на полуострове Ямал (с использованием материалов [21]). Б — Расположение мерзлотника в поселке Новый Порт. В — Положение и принципиальная схема тоннелей Новопортовского мерзлотника. Суммарная длина тоннелей — 1177 м. Вход № 2 и вход № 3 ликвидированы в связи с угрозой обрушения кровли. Красными линиями обозначены профили: 1–1 — поперечный, 2–2 — фронтальный. В подложке использован снимок, полученный авторами с использованием беспилотного летательного аппарата. Г — интерьер центральной галереи мерзлотника, высота потолка около 5 м. Высота потолка в боковом проходе — 1.5 м.

Fig. 1. “A” — Location of the village of New Port on the Yamal Peninsula (using materials from [21]). “Б” — location of ice cellar in the village of Novy Port. “В” — Position and schematic diagram of the tunnels of the Novy Port ice cellar. The total length of the tunnels is 1177 m. Entrance No. 2 and Entrance No. 3 were eliminated due to the threat of roof collapse. Red lines indicate profiles: 1–1 — transverse, 2–2 — frontal. The backing uses a photograph taken by the authors using an unmanned aerial vehicle. “Г” — interior of the central gallery of the ice cellar, ceiling height is about 5 m. Ceiling height in the side passage is 1.5 m.

действием термоденудации, термоабразии и блокового отседания. В результате из-за обрушения берега два из трех входов в мерзлотник в настоящее время не эксплуатируются. Во время штормовых нагонов уровень воды находится практически вровень с оставшимся входом, отчего существует реальная угроза затопления мерзлотника. После ликвидации мола и пирсов при реставрации порта вблизи мерзлотника размыв берега усилился. Предпринимавшиеся без научного обоснования попытки проведения берегозащитных мероприятий не дали должного эффекта. В частности, широкомасштабное строительство и эксплуатация объектов нефтегазовой отрасли в Обской губе за последние десятилетия привели к увеличению техногенной нагрузки. Строительство причальных сооружений и иных объектов инфраструктуры привело к неблагоприятным последствиям в береговой зоне в створе поселка Новый Порт. Вкупе с повышением среднегодовой температуры грунтов, увеличением сезонно-талого слоя и снижением ледовитости арктических акваторий [8, 19, 24] безаварийная эксплуатация Новопортовского мерзлотника без надлежащего мониторинга криогенных и береговых процессов представляется невозможной. Проблемы мерзлотника, связанные с природными процессами, усугубляются экономическим спадом в рыбной промышленности: в связи с активизацией морских перевозок и проведением дноуглубительных работ, в Обской губе значительно сократились популяции ценных видов рыб. Сокращение уловов приводит к снижению рентабельности как самого завода, так и Новопортовского мерзлотника. И к настоящему времени хранимые объемы рыбы составляют около 10% от вместимости мерзлотника.

Из вышесказанного следует актуальная научная проблема необходимости разработки научно обоснованных рекомендаций для сохранения Новопортовского мерзлотника, как уникального объекта культурного наследия и криосферы Земли. Проводившиеся до настоящего момента реконструкции мерзлотника в большей степени носили косметический характер и имели цель минимизировать последствия воздействия климатически обусловленных изменений и антропогенного вмешательства. Новизна нашей задачи заключается в том, чтобы на основе результатов мониторинга криогенного состояния мерзлотника, натурных наблюдений за опасными криогенными процессами и геокриологического прогноза, учитывающего тенденции климатических изменений, впервые дать научно обоснованные рекомендации для мероприятий по стабилизации состояния мерзлотника и берегового уступа, тем самым обеспечить условия, чтобы сохранить этот уникальный комплекс сооружений для будущих поколений.

Таким образом, становится очевидна необходимость изучения Новопортовского мерзлотника с целью определения и прогнозирования основных деструктивных процессов, угрожающих существованию объекта культурного наследия регионального значения. Цель данной статьи — изложить общие характеристики современного состояния мерзлотника и определить направления дальнейших исследований.

Регион исследования

Новый Порт ($67^{\circ}4'32''$ с.ш. $72^{\circ}53'58''$ в.д.) расположен в юго-западной части Обской губы Карского моря, в пределах юго-восточной части Ямала (см. рис. 1А) и в 300 км к северо-востоку от столицы субъекта — Салехарда, в зоне субарктического континентального климата, в природных условиях южной тундры [2]. Рельеф побережья низменный, слаборасчлененный, амплитуда высот в пределах обследуемого участка не превышает 15–20 м.

Четвертичные отложения представлены чередующимися аллювиально-морскими песками, супесями и суглинками каргинского возраста (МИС 3). Низменные дельтовые и лайдовые поверхности сложены голоценовыми песками, супесями и торфами. Территория характеризуется сплошным распространением многолетнемерзлых пород мощностью около 100 м. Среднегодовая температура грунтов варьирует от -3 до -7°C . Грунты пластичномерзлые льдистые и твердомерзлые малольдистые, отличаются слабой степенью засоления. Преобладающие криотекстуры в суглинках и глинах: слоистые и сетчатые. На торфяниках распространены голоценовые полигонально-жильные льды, пластовые льды не характерны, кроме инъекционных ядер бугров пучения [12]. Льдистость грунтов обуславливает развитие криогенных процессов: солифлюкция, термоденудация, термоэрозия, формирование криогенных оползней скольжения на береговых уступах.

Гидродинамика Обской губы характеризуется сильной как межгодовой, так и внутрисезонной изменчивостью [3]. Это обусловлено специфичным взаимодействием различных факторов в эстуарии: величиной речного стока, приливно-отливными явлениями, а также сгонно-нагонными явлениями, амплитуда которых в несколько раз превышает приливную [3]. По немногочисленным литературным данным [9], величина приливов по геоморфологическим наблюдениям не превышает 0.5 м, а по данным, взятым из таблиц приливов, медианные приливно-отливные колебания составляют 0.1–0.2 м [25]. Суммарная же суточная величина приливно-отливных и сгонно-нагонных колебаний, по инструментальным измерениям, за последние 10 лет достигала 1.25 м. Несмотря на малую величину безледного периода (в среднем 3.5 месяца) и отmelость подводного берегового склона Восточного Ямала [1], рекордная амплитуда штормовых нагонов может приводить к существенному абразионному воздействию, сопоставимому с открытыми участками акватории Карского моря. За счет этого даже низменные аккумулятивные берега могут быть подвержены размыву [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2023 г. сотрудниками НИЛ геоэкологии Севера в рамках экспедиции в поселок Новый Порт было проведено рекогносцировочное обследование состояния Новопортовского мерзлотника. Маршрутные наблюдения включали в себя геоморфологическую съемку, сопровождаемую аэровизуальным обследованием с помощью беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 Pro (БПЛА), а также мерзлотные исследования.

Мерзлотные исследования включали в себя измерение мощности слоя сезонного оттаивания над мерзлотником и в его окрестностях, на береговом уступе и на пляже. Измерение сезонно-талого слоя проводилось в конце периода оттаивания (14 октября) с использованием мерзлотного шупа. В самом мерзлотнике был установлен логгер, фиксировавший изменения температуры воздуха в течение трех суток (в конце сентября).

В ходе геоморфологической съемки получены сведения о морфологических особенностях основных элементов рельефа (высота и крутизна пляжа, уступа, характер поперечного профиля и пр.), литологическая характеристика отложений пляжа, лайды или уступа, а также наличие осложняющих форм рельефа, на основании чего определялся морфогенетический тип берега и спектр преобладающих экзогенных процессов. Помимо морфологических характеристик, фиксировался уровень при-

лива (полводы, большая вода, малая вода), наличие поверхностей или объектов, маркирующих линию заплеска, что позволяло корректно интерпретировать морфологию надводной части береговой зоны с учетом прилива или нагона. Кроме того, оценивался характер техногенной трансформации рельефа береговой зоны, наличие берегозащитных сооружений и/или бытового и промышленного мусора. Описания сопровождалось геолого-геоморфологическим профилированием.

Кроме того, благодаря содействию директора муниципального предприятия “Новопортовский рыбзавод” Сергея Степановича Юсько, были получены архивные сведения о конструктивных особенностях мерзлотника. Непосредственно информация о геологическом и криолитологическом строении второй лагунно-морской террасы, в отложениях которой обустроен мерзлотник, была взята из отчета по инженерно-геологическим изысканиям, проведенным ООО “ТАИС-С” в 2009 г¹.

По полученным архивным фотоматериалам удалось сопоставить состояние берегового уступа и пляжа в 2016 и 2023 гг².

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общая площадь Новопортовского мерзлотника — около 1 га. Структурно мерзлотник состоит из трех главных галерей протяженностью 100–140 м, вытянутых с юго-востока на северо-запад (параллельно береговой линии). Главные галереи соединены несколькими перпендикулярными тоннелями (см. рис. 1Б). Суммарная длина тоннелей составляет 1177 м. Площадь непосредственно подземной части мерзлотника равна 7602.1 м², причем полезная площадь составляет всего 4134 м². Объем мерзлотника — 19537 м³, в то время как полезный объем составляет 10624 м³. Высота главных галерей — около 4 м, второстепенных тоннелей — около 1.5 м. Кровля главных галерей расположена на глубине 10 м, второстепенных галерей — до 13 м. Мерзлотник имеет 6 вентиляционных шахт, которые открываются в зимнее время для активизации циркуляции воздуха и выхолаживания.

По результатам бурения³ разрез верхних 16 м выглядит достаточно однородным (рис. 2А). С поверхности до глубины 2 м (при условии отсутствия техногенной подсыпки) залегают верхнеплейстоцен-голоценовые коричнево-серые суглинки. Ниже сезонно-талого слоя суглинки пластичномерзлые со слоистой криогенной текстурой (ширы мощностью 0.1–0.4 см через 0.2–2.5 см). Редко внутри суглинков встречаются линзы и прослои пылеватого песка, мощностью до 0.3 м. Суглинки подстилаются темно-серыми твердо- и пластичномерзлыми верхнеплейстоценовыми глинами с сетчатой криотекстурой (толщина шпиров 0.1–0.6 см). Склоны покрыты чехлом серо-коричневых суглинков, ожелезненных. Лучшая дренированность, а также наличие склоновых процессов (солифлюкция, оплывание, крип) позволяет выделить чехол склоновых отложений в отдельную фацию относительно верхней толщи суглинков, залегающих на плоских поверхностях. Грунты слабозасоленные с морским типом засоления (0.062–0.393%) и с незначительным содержанием органики

¹ Герасимов С. В. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте “Многokвартирный жилой дом по ул. Школьная, 36 в пос. Новый Порт, Ямальского района ЯНАО. ООО “ТАИС-С”, 2009.

² Икизли И. Г., Юсько С. С., Силантьев В. А., Аверин А. Я. Технический отчет о состоянии объекта культурного наследия (памятника истории и культуры) Российской Федерации. Тюмень, 2016.

³ Герасимов С. В. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте “Многokвартирный жилой дом по ул. Школьная, 36 в пос. Новый Порт, Ямальского района ЯНАО. ООО “ТАИС-С”, 2009.

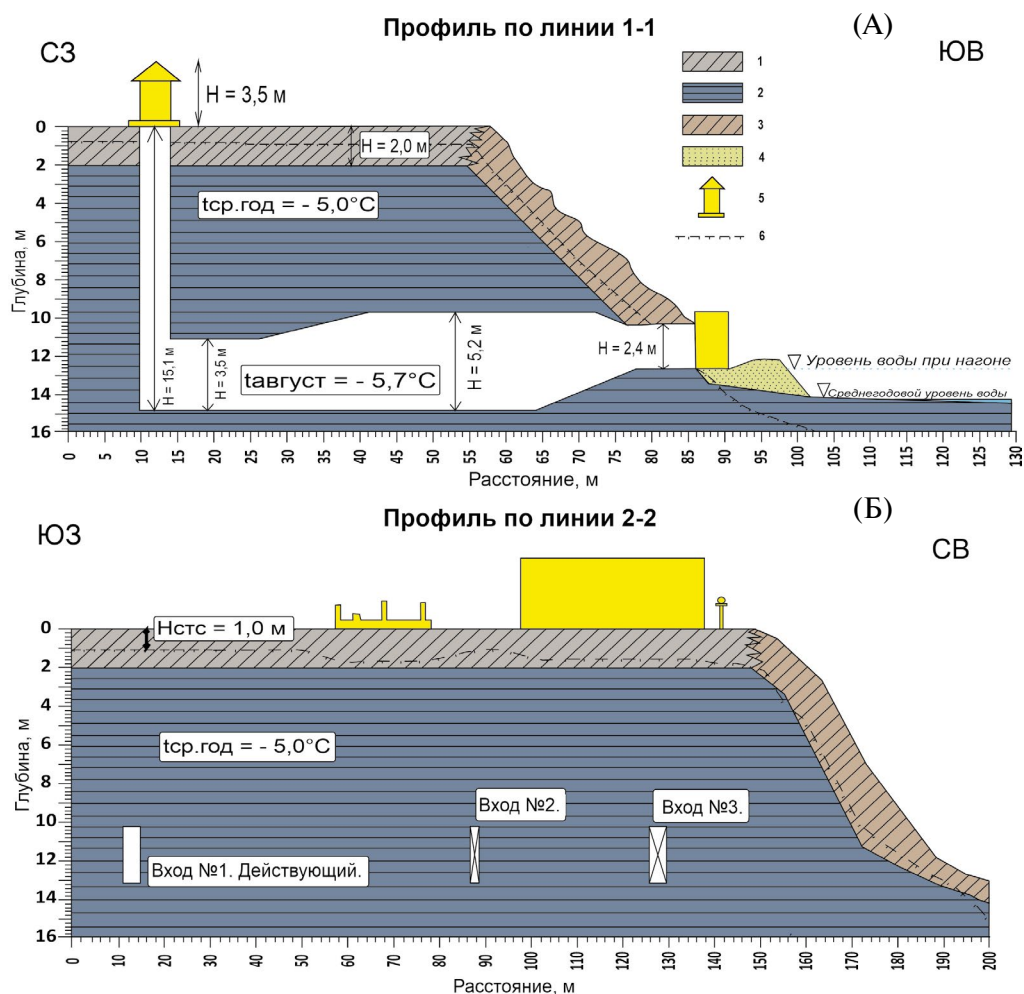


Рис. 2. А — Поперечный профиль (линия 1–1, см. рис. 1) через главную штольню Новопортовского мерзлотника. Вход № 1 оборудован транспортером для рыбы. Б — Продольный (параллельно берегу) профиль (линия 2–2, см. рис. 1). Склон в северо-восточной части профиля относится к долине ручья, протекающего через поселок. Условные обозначения: 1 — суглинок, 2 — глина, 3 — суглинок, переработанный склоновыми процессами, 4 — песок, 5 — инженерные сооружения и постройки, 6 — подошва сезонноталого слоя.

Fig. 2. “А” — Transverse profile (line 1–1, see Fig. 1) through the main adit of the Novy Port ice cellar. Entrance No. 1 is equipped with a fish conveyor. “Б” — Longitudinal (parallel to the shore) profile (line 2–2, see Fig. 1). The slope in the north-eastern part of the profile belongs to the valley of the stream flowing through the village. Legend: 1 — loam, 2 — clay, 3 — loam processed by slope processes, 4 — sand, 5 — engineering structures and buildings, 6 — base of the seasonally thawed layer.

(2.3–2.9%). Разрезы отложений, в которых обустроен мерзлотник, представлены на рис. 2А и 2Б. По данным термометрии⁴, среднегодовые колебания температуры затухают на глубине 16 м при температуре грунта –5°C. Соответственно, почти весь мерзлотник расположен в зоне годовых колебаний температуры грунта.

По результатам промеров глубины сезонного протаивания в сентябре 2023 г. мощность сезонно-талого слоя составила в среднем 1.07 м (результат 30 измерений). Минимальное значение 0.8 м было отмечено вблизи вентиляционной шахты № 4, максимальное значение (1.54 м) — вблизи трубопровода у северо-восточной границы мерзлотника (см. рис. 2Б). Протаивание на склоне (по нормали) составило 1.06 м (по результатам 10 измерений). На пляже (бенче) глубина протаивания более 2 м (кровля мерзлоты не зафиксирована). При этом в естественных условиях в тот же период (площадка CALM) средняя глубина протаивания составила 0.7 м.

Изначально мерзлотник был оборудован тремя входами со стороны бухты Новый порт, однако в последнее десятилетие входы № 2 и № 3 пришли в аварийное состояние и к 2016 г. были ликвидированы: проведено искусственное обрушение кровли и блокировка выхода (рис. 3Г). Действующий вход № 1 оборудован транспортером для подачи продукции в мерзлотник и из него. Для предотвращения затопления мерзлотника в период штормов и нагонов перед входом № 1 оборудована антропогенная песчаная насыпь, укрепленная строительным мусором (арматуры, мешки с цементом, бетонные, деревянные и железные обломки сооружений).

Интерьер мерзлотника состоит из деревянных стен и перекрытий, которые покрыты слоем изморози мощностью до 5–7 см (сентябрь 2023 г.), которая периодически счищается. В помещении входов полы деревянные, дощатые, отделки не имеют. Полы штолен покрыты льдом. Термометрические измерения внутри мерзлотника на протяжении трех суток показали практическое отсутствие суточных колебаний температуры (менее 0.02°C), причем у пола температура составила –5.97°C, а на высоте 1.7 м –5.7°C. По устному сообщению директора Новопортовского рыбзавода С. С. Юсько, в зимний период внутри мерзлотника поддерживается температура не выше –20°C. Терморегуляция проводится путем закрытия или открытия вентиляционных шахт.

Над мерзлотником расположены заброшенное одноэтажное здание заводоуправления, а также несколько разрушенных хозяйственных построек. Автомобильное движение над тоннелями запрещено, однако по территории сооружения проходит ряд пешеходных необорудованных тропинок.

Входы мерзлотника расположены в береговой зоне, на поверхности уступа размыва. Ущерб уникальному сооружению наиболее интенсивно проявляется в пределах входов в результате комплексного воздействия береговых, склоновых и посткриогенных процессов. При относительно однородном гидродинамическом воздействии как в пределах мерзлотника, так и поселка в целом, морфология берегов и характер разрушения берега определяется преимущественно литологической мозаичностью строения уступа размыва. Так, к западу от причальных сооружений (вне территории мерзлотника) наблюдаются преимущественно термоабразионные берега с узким (4–7 м) пляжем и крутым (до 30–35°) уступом, выработанным в песчаных отложениях.

⁴ Герасимов С. В. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте “Многokвартирный жилой дом по ул. Школьная, 36 в пос. Новый Порт, Ямальского района ЯНАО. ООО “ТАИС-С”, 2009.

Непосредственно же в створе мерзлотника уступ относительно пологий (местами до 12–15°), осложнен многочисленными циркообразными стенками срыва и оползневыми микротеррасами. Уступ переходит в маломощный прислоненный пляж (шириной не более 3–4 м), который по мере движения от входа № 1 ко входу № 3 полностью выклинивается и замещается бенчем из суглинистого материала. Берег в створе поселка, таким образом, имеет преимущественно термоденудационную морфологию. Это обусловлено почти повсеместным распространением глинистых грунтов у подножья уступа. Ввиду климатических изменений большее оттаивание слабозасоленных грунтов способствует развитию оползневых процессов и ведет к потере устойчивости склона, что усугубляется еще и термоабразией.

О значительной интенсивности береговых процессов в последние 10 лет можно судить по сопоставлению полученных наблюдений и архивных фотоматериалов 2016 года (рис. 3А, 3Б).

В качестве берегоукрепления на ряде участков у бровки склона построены подпорные стенки с термостабилизаторами, а в тыловой части пляжа — хаотичная берегозащита из труб, металлоконструкций, набросок мешков с бетоном или глиной. Далее на северо-восток, вне зоны активной застройки, термоабразионные и термо-



Рис. 3. А — Состояние берега вблизи мерзлотника в 2016 г., вид с северо-востока. Наблюдаются осушка и участки лайды. Б — Состояние берега вблизи мерзлотника в 2023 г., вид с северо-востока. Лайда размывта и замещена маломощным пляжем. В — Вход № 3 в 2016 г. Не используется в связи с угрозой обрушения и переоборудован в вентшахту. Г — Вход № 3 в 2023 г. Ликвидирован.

Fig. 3. “А” — Condition of the coast near the ice cellar in 2016, view from the northeast. The mudflat and laida surfaces are observed. “Б” — State of the coast near the ice cellar in 2023, view from the northeast. Laida is eroded and replaced by thin beach. “В” — Entrance No. 3 in 2016. Not used due to the threat of collapse and converted into a ventilation shaft. “Г” — Entrance No. 3 in 2023. Liquidated.

денудационные берега замещаются лайдой шириной от 50–70 м до первых километров.

На значительной части береговой линии вдоль мерзлотника берег был представлен относительно широким песчаным пляжем или низкой аккумулятивной терра-сой (лайдой), проективное покрытие растительности на которой достигало 100%. В настоящее же время лайдовых поверхностей к востоку от причала не наблюдается вовсе, а входы № 2 и № 3 разрушены (рис. 3В, 3Г).

ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования хранилищ в зоне мерзлоты в Якутии, на Чукотке и Аляске показали, что основным фактором, влияющим на их устойчивость и сохранность, является социально-экономическая ситуация в поселениях [15, 20, 26]. Т.е. разрушение лёдника (затопление или обвал кровли) происходит при прекращении действий по поддержанию объекта в рабочем состоянии: при отсутствии зимнего проветривания, очищении стен от наростшего льда и уборки испортившейся продукции (лёдник в селе Инчоун, древние лёдники на Чукотке и Аляске). Реже обрушения лёдников происходят при нарушении норм эксплуатации, при чрезмерном отоплении в летнее время (лёдник в селе Лорино) [17]. Для Якутии характерны небольшие “семейные” лёдники, расположенные на глубине 4–6 м, которые более чувствительны к климатическим изменениям и в особенности к увеличению глубины сезонного протаивания. Основную опасность для них представляет затопление тальми или речными водами в период половодий или паводков [26]. На Аляске, в районе поселения Барроу лёдники также являются небольшими сооружениями, имеющимися почти в каждом хозяйстве (по оценкам около 70 лёдников на поселение около 4000 человек). По данным [20] лёдники подвержены затоплению грунтовыми водами, которые формируются в мерзлых засоленных грунтах при повышении их температуры до температуры начала замерзания. Увеличение температуры грунтов может быть связано с климатическими изменениями, а также с увеличением антропогенного воздействия (изменение снегонакопления, проезд транспорта и т.д.).

Для Новопортовского мерзлотника на Ямале увеличение глубины сезонного оттаивания, вероятно, не будет носить критического эффекта, так как тоннели мерзлотника заложены на глубине 10–14 м, не будут подвержены протаиванию в ближайшем будущем. Прекращение обслуживания мерзлотника, как и нарушения в эксплуатации, негативно скажутся на его состоянии и приведут к необратимым деструктивным процессам внутри объекта. Но наибольшую опасность, судя по рекогносцировочному исследованию, представляет затопление мерзлотника водами Обской губы в период нагонов и штормов. Для подобного рода сооружений, описанных в литературе, данная проблема нехарактерна, так как они преимущественно расположены на удалении от водных объектов (на территории индивидуальных хозяйств) и не связаны с берегом. Новопортовский же мерзлотник предполагался как хранилище рыбы, для чего все входы были обустроены вблизи береговой линии, в береговом уступе, для удобства транспортировки продукции. На протяжении десятилетий гидродинамические и литодинамические условия в береговой зоне вблизи мерзлотника оставались относительно стабильными и не вызывали деструктивных процессов. Однако за последнее десятилетие ситуация поменялась.

Исходя из результатов геоморфологического обследования, устных сообщений местных жителей, а также архивных фото, свидетельствующих о размыве фрагмен-

тов лайд на термоабразионных и термоденудационных берегах, можно заключить, что в последние 5–7 лет абразионная нагрузка на берега Нового Порта существенно увеличилась. Непосредственно в створе поселка разрушение берегового уступа реализуется преимущественно за счет активизации склоновых процессов на термоденудационных сегментах с последующим выносом пляжеобразующего материала сгонно-нагонными явлениями. Это может быть связано как с естественным увеличением сезонно-талого слоя в пределах уступа и возрастающей штормовой активностью [8], так и с возросшей техногенной нагрузкой на берег и подводный береговой склон. В 2017 г. был реализован проект строительства нового причала для нужд нефтегазовой отрасли, что сопровождалось дноуглубительными работами на осушке, подрезкой склонов и, возможно, изъятием пляжеобразующих наносов. О росте волновой нагрузки на берега Нового Порта свидетельствует и повсеместный размыв поверхности лайды даже вне зоны активного техногенного воздействия. В обзорных работах [16, 22] берега Юго-Восточного Ямала не рассмотрены или же представлены стабильными морфодинамическими типами берегов. Представленные результаты подтверждают и подчеркивают повсеместную абразионную тенденцию, выявленную, в том числе, и для низких аккумулятивных берегов [10]. При современных климатических тенденциях вполне вероятно увеличение скорости размыва до сопоставимой (2–3 м/год) с техногенно-освоенными участками на открытых побережьях Карского моря [22, 23].

Однако, несмотря на предположение о незначительном влиянии изменяющихся геокриологических условий на состояние мерзлотника, необходимость их мониторинга не отпадает, так как повышение температуры грунтов и увеличение глубины сезонного протаивания повлекут за собой активизацию склоновых процессов: солифлюкция, оползнеобразование, термоденудация. Также повышение температуры грунтов может вызвать локальные просадки в грунтовом массиве, перераспределение нагрузок и деформацию перекрытий мерзлотника. Вероятно, именно активизация склоновых процессов, вызванная увеличением глубины протаивания, привела к выходу из строя двух из трех входов в мерзлотник. Для прогнозирования и предотвращения подобных процессов необходима закладка системы геокриологического мониторинга мерзлотника. В частности, для наблюдения за температурой грунтового массива требуется заложить ряд термометрических скважин на различном удалении от мерзлотника. Также возможна закладка горизонтальных термометрических скважин и скважин ниже подошвы штолен. Мониторинг сезонно-талого слоя должен проводиться в конце периода оттаивания (конец сентября) либо по регулярной сетке, либо в репрезентативных точках. Также требуется установить термометрические и влажностные логгеры внутри тоннелей мерзлотника в нескольких частях для наблюдения за ходом температуры внутри объекта. Заложение системы мониторинга позволит провести более точное моделирование температурного поля вокруг мерзлотника для выявления слабых участков, наиболее подверженных растеплению. Предполагается поставить и решить как плоскую, так и объемную задачу. Определение динамики температурного поля в грунтах позволит предложить наиболее оптимальный путь предотвращения негативных изменений в грунтах: очистка снега, затенение в летнее время, установка сезонно-охлаждающих устройств и т.д. [18].

Дальнейшие работы по оценке динамики береговых процессов в районе исследования будут сопровождаться сравнительным анализом материалов дистанционного зондирования и гидрометеорологических наблюдений с полученными

геодезическими и геоморфологическими данными. Кроме того, преобладание термоденудационного механизма разрушения берегов в условиях литологической неоднородности морской террасы в створе мерзлотника обуславливает необходимость проведения и крупномасштабной геокриологической съемки с выявлением фациальной дифференциации грунтов. Отсутствие надлежащего мониторинга и организации берегоукрепительных работ, нарушение функционирования Новопортовского мерзлотника, памятника культурного объекта и уникального сооружения, может произойти в считанные годы.

Охранный статус Новопортовского мерзлотника, как объекта культурного наследия регионального значения, подразумевает выделение средств из регионального бюджета на сохранение и реставрацию объекта. При условии поддержания (сохранения) мерзлотника в рабочем состоянии и обеспечении его устойчивого функционирования на фоне изменений климата, а также проведении научно обоснованных мероприятий по сохранению мерзлоты (по поддержанию приемлемого температурного режима и физико-механических свойств мерзлых грунтов) можно расширить сферу использования этого объекта. Так, для развития экономики региона помимо традиционного использования мерзлотника в качестве хранилища для рыбы представляется весьма перспективным использование мерзлотника для рекреационно-туристической деятельности. Ряд ледников в Якутии, на Чукотке и в ЯНАО уже используются в качестве музеев краеведения, ледяных скульптур, мерзлоты, “ледникового периода”, отелей для туристов-экстремалов. В ледниках устраиваются гастрономические туры, различные шоу-представления с участием национальных ансамблей песни и пляски. Это реальный путь для восстановления рентабельности ледников, включая Новопортовский, на фоне снижения рентабельности от рыбного промысла.

В целом программа по разработке мер инженерной защиты Новопортовского мерзлотника будет включать несколько этапов. На первом этапе должен проводиться сбор, обработка и обобщении информации о литологическом составе и физико-механических свойствах грунтов, слагающих береговые уступы в районе расположения мерзлотника. Изучение температурного режима мерзлых пород в районе п. Новый Порт по опубликованным и фондовым материалам. Полевые инструментальные наблюдения за опасными криогенными и береговыми процессами с применением GNSS и БПЛА-оборудования. Закладка серии скважин с термокосоми для автоматизированного мониторинга температурного режима грунтов вокруг над тоннелями, в стенах и основании мерзлотника. На втором этапе необходимо подключить инструментальные наблюдения за опасными криогенными и береговыми процессами с применением GNSS и БПЛА-оборудования. Мониторинг температурного режима вокруг над тоннелями, в стенах и основании мерзлотника. Моделирование температурного режима мерзлых грунтов вокруг тоннелей мерзлотника для различных сценариев изменения климата к 2050 г. в программах q-Frost и Frost 3D Термо. На третьем этапе будут продолжены инструментальные наблюдения за опасными криогенными и береговыми процессами с применением GNSS и БПЛА-оборудования. Мониторинг температурного режима вокруг над тоннелями, в стенах и основании мерзлотника. Разработка рекомендации по составу научно-технических и технологических мероприятий, направленных на сохранение мерзлых грунтов вокруг Новопортовского мерзлотника, на стабилизацию опасных береговых и криогенных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам предварительного обследования состояния Новопортовского мерзлотника в сентября 2023 г. и работы с архивными материалами можно сделать следующие выводы.

1. Новопортовский мерзлотник является уникальным среди объектов своего класса: он продолжает выполнять свою изначальную функцию (хранение рыбы), в то время как большая часть ледников такого размера к настоящему времени заброшены и разрушены.

2. Мерзлотник заложен в позднеплейстоцен-голоценовых глинистых лагунно-морских льдистых отложениях, со среднегодовой температурой -5°C . В период максимального потепления (сентябрь) температура внутри мерзлотника не подвержена суточным колебаниям и составляет -5.75°C , при этом в зимний период она опускается до -20°C и ниже. Глубина протаивания над мерзлотником составляет в среднем 107 см, тогда как на фоновых поверхностях равна 70 см.

3. Совокупное воздействие техногенеза (перестройка портовых сооружений) и, вероятно, климатических изменений, привело к активизации размыва и термоденудации берегов в районе мерзлотника. Обновление портовых сооружений (в особенности разбор старых пирсов и молов) обусловило усиление волнового воздействия и последующему размыву пляжа и лайды в створе мерзлотника. Вследствие этого волнению подвергается непосредственно подножье уступа, на котором расположен мерзлотник, из-за чего существует риск затопления мерзлотника во время штормовых нагонов. Активизация склоновых процессов и размыва уже привела к разрушению двух из трех входов в мерзлотник.

4. Для сохранения Новопортовского мерзлотника в условиях активизации хозяйственного освоения и климатических изменений в Обской губе, необходимо установить систему мониторинга, включающую в себя ряд термометрических скважин на различном удалении от объекта и ряд логгеров внутри мерзлотника. Также для наблюдения за экзогенными процессами следует ежегодно составлять цифровые модели местности на основе ортофотограмметрических данных с БПЛА. Данные мониторинга будут использованы для моделирования температурного поля грунтов и прогноза негативных изменений природной среды вблизи мерзлотника. Результаты моделирования могут быть применены при организации инженерной защиты объекта.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 22-7-00097. Участие в исследовании А.А.Маслакова осуществлялось в рамках госбюджетной темы НИР № 121051100167-1. Авторы выражают благодарность директору Новопортовского рыбзавода С.С. Юсько за предоставленные архивные материалы, а также за обеспечение доступа к объекту исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолов А. А., Кажукало Г. А., Носков А. И., Огородов С. А. Рельеф дна Обской губы Карского моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2024. Т. 79, № 1. С. 89–102.
2. Кашперук П. И. Климат. // Геокриология СССР. Западная Сибирь. / Под ред. Э. Д. Ершова. М.: Недра, 1989. С. 40–45.

3. *Лалин С. А.* Гидрологическая характеристика Обской губы в летне-осенний период // *Океанология*. 2011. Том 51, № 6. С. 1–10.
4. *Мавлюдов Б. Р.* Мерзлотник — хранилище в вечной мерзлоте // *Спелеология и спелеология*. 2022. № 2. С. 92–96.
5. *Локтионов Е. Ю., Шараборова Е. С., Клоков А. В., Маслаков А. А., Сотникова К. С., Коршунов А. А.* Технологии сохранения мерзлотников (лёдников) для обеспечения устойчивого развития северных поселений // *Арктика: экология и экономика*. 2024. Т. 14. № 1. С. 116–126.
6. *Огородов С. А., Шабанова Н. Н., Кессель А. С., Баранская А. В., Разумов С. О.* Изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей Российской Арктики // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2022. № 1. С. 26–42.
7. *Осин М.* Месторождение Новопортовское // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2013. № 10. С. 55–57.
8. *Платонов В. С., Мысленков С. А., Архипкин В. С., Кислов А. В.* Высокорастворяющее моделирование гидрометеорологических полей в прибрежных районах Карского моря в условиях сложной конфигурации береговой линии // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2022. № 1. С. 87–106.
9. *Романенко Ф. А.* Региональные особенности развития берегов арктических морей в голоцене // *Геоморфология*. 2012. № 4. С. 81–92.
10. *Романенко Ф. А., Баранская А. В., Ермолов А. А., Кокин О. В.* Низкие берега западно-арктических морей: происхождение, возраст и современная динамика // *Вопросы географии*. 2015. Т. 140. С. 275–306.
11. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Росгидромет. — Санкт-Петербург: Научно-технологии, 2022. 124 с.
12. *Шполянская Н. А.* Западносибирский район. // *Региональная криолитология* / Под ред. А. И. Попова. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 62–87.
13. *Genest M.* Cold Storage Solutions: Tuktoyaktuk Ice House // *First We Eat. Food Security North of 60*. 2016. URL: www.firstweeat.ca [Accessed on 12 April 2020].
14. *George J. C., Wetzel D., O'Hara T. M., Robertson K., Dehn L., Leduc R., Reynolds J.* An Analysis of Ancient Bowhead Whale Mangtak from Gambell Alaska: What can it Tell Us? // *International Whaling Commission Scientific Committee Documents*, SC-60-E2, Santiago, Chile: International Whaling Commission. 2008.
15. *Kintisch E.* These Ice Cellars Fed Arctic People for Generations. Now They're Melting // *National Geographic*. 2015. URL: <https://www.nationalgeographic.com/news/2015/10/151030-ice-cellar-arctic-melting-climate-change/> [Accessed 02.03.2020].
16. *Lantuit H., Overduin P. P., Couture N., Wetterich S., Aré F., Atkinson D., Brown J., Cherkashov G., Drozdov D., Forbes D. L., Graves-Gaylord A., Grigoriev M., Hubberten H. W., Jordan J., Jorgenson T., Ødegård R. S., Ogorodov S., Pollard W. H., Rachold V., Sedenko S., Solomon S., Steenhuisen F., Streletskaia I., Vasiliev A.* The Arctic Coastal Dynamics database. A new classification scheme and statistics on arctic permafrost coastlines // *Estuaries and Coasts*. 2012. V. 35. P. 383–400.
17. *Maslakov A. A., Nyland K. E., Komova N. N., Yurov F. D., Yoshikawa K., Kraev G. N.* Community ice cellars in eastern Chukotka: climatic and anthropogenic influences on structural stability // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. 13(3). P. 49–56.
18. *Maslakov A., Sotnikova K., Gribovskii G., Evlanov D.* Thermal Simulation of Ice Cellars as a Basis for Food Security and Energy Sustainability of Isolated Indigenous Communities in the Arctic // *Energies*. 2022. 15. P. 972. <https://doi.org/10.3390/15030972>.

19. Nielsen D. M., Pieper P., Barkhordarian A., Overduin P., Ilyina T., Brovkin V., Baehr J., Dobrynin M. Increase in Arctic coastal erosion and its sensitivity to warming in the twenty-first century // *Nat. Clim. Chang.* 2022. 12. P. 263–270. <https://doi.org/10.1038/41558-022-01281-0>
20. Nyland K. E., Klene A. E., Brown J., Shiklomanov N. I., Nelson F. E., Streletskiy D. A., Yoshikawa K. Traditional Iñupiat Ice Cellars (SIGIUAQ) in Barrow, Alaska: Characteristics, Temperature Monitoring, and Distribution // *Geographical Review*. 2017. 107(1). P. 143–158.
21. Obu J., Westermann S., Bartsch A., Berdnikov N., Christiansen H. H., Dashtseren A., Khomutov A. Northern Hemisphere permafrost map based on TTOP modelling for 2000–2016 at 1 km² scale // *Earth-Science Reviews*. 2019. V. 193. P. 299–316.
22. Ogorodov S., Aleksyutina D., Baranskaya A., Shabanova N., Shilova O. Coastal erosion of the russian arctic: An overview // *Journal of Coastal Research*. 2020. No. 95. P. 599–604.
23. Ogorodov S., Badina S., Bogatova D. Sea Coast of the Western Part of the Russian Arctic under Climate Change: Dynamics, Technogenic Influence and Potential Economic Damage // *Climate*. 2023. V. 11, № 7. P. 143.
24. Vasiliev A. A., Drozdov D. S., Gravis A. G., Malkova G. V., Nyland K. E., Streletskiy D. A. Permafrost degradation in the western Russian arctic // *Environmental Research Letters*. 2020. V. 15, № 4. P. 045001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6f12>
25. WXTide32 — a free Windows tide and current prediction program.
URL: <http://www.wxtide32.com> (дата обращения: 10.07.2024).
26. Yoshikawa K., Osipov D., Serikov S., Permyakov P., Stanilovskaya J., Gagarin L., Kholodov A. Traditional Ice Cellars (Lednik, Bulus) in Yakutia: Characteristics, Temperature Monitoring, and Distribution // *Arctic 21 Century. Environmental Sciences*. 2016. V. 1 (4). P. 15–22.
27. Yoshikawa K., Maslakov A. A., Kraev G., Ikuta H., Romanovsky V. E., George J. C., Klene A. E., Nyland K. E. Food storage in permafrost and seasonally frozen ground in Chukotka and Alaska communities // *Arctic*. 2022. V. 75. № 2. P. 225–241.

Novoportovskiy Ice Cellar, the Unique Object of Historical and Cultural Heritage of Yamal Region: the Current State and Prospects of Stability Due to Climate Change

L. P. Kuziakin^{1,*}, S. A. Ogorodov^{1,**}, A. A. Maslakov^{1,***},
G. A. Kazhukalo^{1,****}, D. M. Bogatova^{1,*****}

¹*Lomonosov Moscow State University (MSU), Moscow, Russia*

^{*}*E-mail: kuziakin@geogr.msu.ru*

^{**}*E-mail: ogorodov@geogr.msu.ru*

^{***}*E-mail: alexey.maslakov@geogr.msu.ru*

^{****}*E-mail: kazhukalo@geogr.msu.ru*

^{*****}*E-mail: aleksyutina@geogr.msu.ru*

Abstract — The Novy Port ice cellar is the largest permafrost storage facility in Yamal. Due to climate change and increasing anthropogenic impacts, destructive exogenous processes are intensifying near the ice cellar. Over the past decades, due to an increase in the depth of thawing, two of the three entrances to the ice cellar have collapsed, and subsidence and deformation of the roof of the tunnels have been observed. The deepening of the Novy Port Bay and the elimination of old berths and piers led to increased wave action on the coastal ledge near the ice cellar and to the intensification of thermal erosion and thermal denudation. During surges, the height of the waves almost

reaches the entrance to the ice cellar, which is why it can be flooded and destroyed. In this regard, in order to preserve the unique cultural heritage site of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug, it is necessary to organize monitoring of natural processes near the ice cellar, as well as develop a number of measures to level out the impact of negative exogenous processes.

Keywords: Ob Bay, Novy Port ice cellar, technogenesis in the coastal zone, geocryological monitoring; thermic erosion; coastal processes

REFERENCES

1. Ermolov A. A., Kazhukalo G. A., Noskov A. I., Ogorodov S. A. Rel'ef dna Obskoy guby Karskogo morja // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografija*. 2024. T. 79, № 1. P. 89–102.
2. Kashperjuk P. I. Klimat. // *Geokriologija SSSR. Zapadnaja Sibir'.* / Pod red. Je. D. Ershova. M.: Nedra, 1989. P. 40–45.
3. Lapin S. A. Gidrologicheskaja harakteristika Obskoy guby v letne-osennij period // *Okeanologija*. 2011. Tom 51, № 6. P. 1–10.
4. Mavludov B. R. Merzlotnik — khranilishe v vechnoi merzlotte // *Speleologija*. 2022. № 2. P. 92–96.
5. Loktionov E. U., Sharaborova E. S., Klovov A. V., Maslakov A. A., Sotnikova K. S., Korshunov A. A. Tekhnologii sokhraneniya merzlotnikov (lednikov) dlya obespecheniya ustoychivogo razvitiya severnykh poselenij // *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2024. T. 14. № 1. P. 116–126.
6. Ogorodov S. A., Shabanova N. N., Kessel' A. S., Baranskaja A. V., Razumov S. O. Izmenenie gidrometeorologicheskogo potentsiala termoabrazii beregov morej Rossijskoj Arktiki // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografija*. 2022. № 1. P. 26–42.
7. Osin M. Mestorozhdenie Novoportovskoe // *Jenergija: jekonomika, tehnika, jekologija*. 2013. № 10. P. 55–57.
8. Platonov V. S., Myslenkov S. A., Arhipkin V. S., Kislov A. V. Vysokorazreshajushhee modelirovanie gidrometeorologicheskikh polej v pribrezhnykh rajonah Karskogo Morja v uslovijah slozhnoj konfiguracii beregovoj linii // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografija*. 2022. № 1. P. 87–106.
9. Romanenko F. A. Regional'nye osobennosti razvitiya beregov arkticheskikh morej v golocene // *Geomorfologija*. 2012. № 4. P. 81–92.
10. Romanenko F. A., Baranskaja A. V., Ermolov A. A., Kokin O. V. Nizkie berega zapadno-arkticheskikh morej: proishozhdenie, vozrast i sovremennaja dinamika // *Voprosy geografii*. 2015. T. 140. P. 275–306.
11. Tretij ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshhee rezjume / Rosgidromet. — Sankt-Peterburg: Naukoemkie tehnologii, 2022. 124 pp.
12. Shpoljanskaja N. A. Zapadnosibirskij rajon. // *Regional'naja kriolitologija* / Pod red. A. I. Popova. M.: Izd-vo MGU, 1989. S. 62–87.
13. Genest M. Cold Storage Solutions: Tuktoyaktuk Ice House // *First We Eat. Food Security North of 60*. 2016. URL: www.firstweeat.ca [Accessed on 12 April 2020].
14. George J. C., Wetzel D., O'Hara T. M., Robertson K., Dehn L., Leduc R., Reynolds J. An Analysis of Ancient Bowhead Whale Mangtak from Gambell Alaska: What can it Tell Us? // *International Whaling Commission Scientific Committee Documents*, SC-60-E2, Santiago, Chile: International Whaling Commission. 2008.
15. Kintisch E. These Ice Cellars Fed Arctic People for Generations. Now They're Melting // *National Geographic*. 2015. URL: <https://www.nationalgeographic.com/news/2015/10/151030-ice-cellar-arctic-melting-climate-change/> [Accessed 02.03.2020].

16. Lantuit H., Overduin P. P., Couture N., Wetterich S., Aré F., Atkinson D., Brown J., Cherkashov G., Drozdov D., Forbes D. L., Graves-Gaylord A., Grigoriev M., Hubberten H. W., Jordan J., Jorgenson T., Ødegård R. S., Ogorodov S., Pollard W. H., Rachold V., Sedenko S., Solomon S., Steenhuisen F., Streletskaia I., Vasiliev A. The Arctic Coastal Dynamics database. A new classification scheme and statistics on arctic permafrost coastlines // *Estuaries and Coasts*. 2012. V. 35. P. 383–400.
17. Maslakov A. A., Nyland K. E., Komova N. N., Yurov F. D., Yoshikawa K., Kraev G. N. Community ice cellars in eastern Chukotka: climatic and anthropogenic influences on structural stability // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. 13(3). P. 49–56.
18. Maslakov A., Sotnikova K., Gribovskii G., Evlanov D. Thermal Simulation of Ice Cellars as a Basis for Food Security and Energy Sustainability of Isolated Indigenous Communities in the Arctic // *Energies*. 2022. 15. P. 972. <https://doi.org/10.3390/15030972>
19. Nielsen D. M., Pieper P., Barkhordarian A., Overduin P., Ilyina T., Brovkin V., Baehr J., Dobrynin M. Increase in Arctic coastal erosion and its sensitivity to warming in the twenty-first century // *Nat. Clim. Chang.* 2022. 12. P. 263–270. <https://doi.org/10.1038/41558-022-01281-0>
20. Nyland K. E., Klene A. E., Brown J., Shiklomanov N. I., Nelson F. E., Streletskiy D. A., Yoshikawa, K. Traditional Inupiat Ice Cellars (SIGĪUAQ) in Barrow, Alaska: Characteristics, Temperature Monitoring, and Distribution // *Geographical Review*. 2017. 107(1). P. 143–158.
21. Obu J., Westermann S., Bartsch A., Berdnikov N., Christiansen H. H., Dashtseren A., Khomutov A. Northern Hemisphere permafrost map based on TTOP modelling for 2000–2016 at 1 km² scale // *Earth-Science Reviews*. 2019. V. 193. P. 299–316.
22. Ogorodov S., Aleksyutina D., Baranskaya A., Shabanova N., Shilova O. Coastal erosion of the Russian Arctic: An overview // *Journal of Coastal Research*. 2020. No. 95. P. 599–604.
23. Ogorodov S., Badina S., Bogatova D. Sea Coast of the Western Part of the Russian Arctic under Climate Change: Dynamics, Technogenic Influence and Potential Economic Damage // *Climate*. 2023. V. 11, №. 7. P. 143.
24. Vasiliev A. A., Drozdov D. S., Gravis A. G., Malkova G. V., Nyland K. E., Streletskiy D. A. Permafrost degradation in the western Russian Arctic // *Environmental Research Letters*. 2020. V. 15, № 4. P. 045001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6f12>
25. WXTide32 – a free Windows tide and current prediction program. URL: <http://www.wxtide32.com> (access date: 10.07.2024).
26. Yoshikawa K., Osipov D., Serikov S., Permyakov P., Stanilovskaya J., Gagarin L., Kholodov A. Traditional Ice Cellars (Lednik, Bulus) in Yakutia: Characteristics, Temperature Monitoring, and Distribution // *Arctic 21 Century. Environmental Sciences*. 2016. V. 1 (4). P. 15–22.
27. Yoshikawa K., Maslakov A. A., Kraev G., Ikuta H., Romanovsky V. E., George J. C., Klene A. E., Nyland K. E. Food storage in permafrost and seasonally frozen ground in Chukotka and Alaska communities // *Arctic*. 2022. V. 75. № 2. P. 225–241.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузякин Лев Павлович

Аспирант, МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

e-mail: kuziakn@geogr.msu.ru

тел.: +7 909 121-38-39

Kuziakin Lev Pavlovich

PhD student, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow state University.

e-mail: kuziakn@geogr.msu.ru

tel.: +7 (909) 121-38-39

Огородов Станислав Анатольевич

Д.г.н., Профессор РАН, гл.н.с., МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

e-mail: ogorodov@geogr.msu.ru

Ogorodov Stanislav

Doctor of Geography Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head. Research Faculty of Geography Lomonosov Moscow state University.

e-mail: ogorodov@geogr.msu.ru

Маслаков Алексей Алексеевич

К.г.н., в.н.с. МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

e-mail: alexey.maslakov@geogr.msu.ru

Maslakov Alexey

Ph.D., senior researcher, Faculty of Geography Lomonosov Moscow state University.

e-mail: alexey.maslakov@geogr.msu.ru

Кажукало Георгий Анатольевич

Инженер, МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

e-mail: kazhukalo@geogr.msu.ru

Kazhukalo Georgy

Engineer, Faculty of Geography Lomonosov Moscow state University.

e-mail: kazhukalo@geogr.msu.ru

Богатова Дарья Максимовна

К.г.-м.н., с.н.с. МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

e-mail: aleksyutina@geogr.msu.ru

Bogatova Daria

Ph.D., Senior Researcher, Faculty of Geography Lomonosov Moscow state University.

e-mail: aleksyutina@geogr.msu.ru

УДК574.583 + 574.52(282.247.211)

РАЗВИТИЕ ЗИМНЕГО ФИТОПЛАНКТОНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СРЕДЫ

© 2024 г. Н. М. Калинкина^{а, *}, В. С. Смирнова^{а, **},
Ю. Л. Сластина^{а, ***}, Р. Э. Здоровеннов^{а, ****},
Г. Э. Здоровеннова^{а, *****}, М. Б. Зобков^{а, *****}
Е. В. Теканова^{а, *****}, Л. Е. Назарова^{а, *****}

^аФедеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”
Институт водных проблем Севера, Петрозаводск, Россия

*E-mail: cerioda@mail.ru

**E-mail: smirnovalea24@yandex.ru

***E-mail: jls@inbox.ru

****E-mail: romga74@gmail.com

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

*****E-mail: ya-mikhailz@yandex.ru

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

*****E-mail: larisanaazarov@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.05.2024 г.

После доработки 23.11.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

Статья посвящена изучению развития зимнего фитопланктона Онежского озера в зависимости от температурных и световых условий, цветности воды, содержания органических и биогенных веществ. В апреле 2022 и 2023 гг., незадолго до вскрытия льда, в Онежском озере выявлены чрезвычайно низкие показатели развития микроводорослей. Основным представителем являлся холодолюбивый вид *Aulacoseira islandica*, относящийся к отделу диатомовых водорослей. Общие численность, биомасса фитопланктона и концентрация хлорофилла *a* варьировали в пределах 0.13–0.71 млн кл/л, 0.06–0.44 мг/л и 0.3–0.8 мкг/л соответственно и характеризовали Петрозаводскую губу и центральную глубоководную часть Онежского озера в зимний период как низкопродуктивные. Причиной небольших показателей развития микроводорослей в зимний период в Петрозаводской губе является высокая цветность воды, определившая малую глубину фотической зоны, и глубокое конвективное перемешивание водной толщи. В центральной части Онежского озера к лимитирующим факторам развития зимнего фитопланктона относятся неблагоприятные световые условия в связи с большой глубиной конвективного перемешанного слоя.

Ключевые слова: Онежское озеро, зимний период, метеорологические условия, температура воды, конвекция, фотическая зона, органическое вещество, биогенные элементы, фитопланктон, хлорофилл *a*

DOI: 10.31857/S0869607124040084, EDN: MOBIRV

ВВЕДЕНИЕ

Состояние планктона в глубоких озерах умеренного пояса в подледный период остается недостаточно изученным, поскольку основные усилия исследователей были сосредоточены на оценке состояния озер в более продуктивный период откры-

той воды [14]. Особенности трудности связаны с исследованиями во время заключительной фазы таяния льда, когда ледовый покров теряет прочность [16].

В условиях потепления климата уменьшается продолжительность ледостава на озерах Северного полушария [2, 19]. Потепление климата вызывает изменение структуры льда. На озерах северных регионов мира часто отмечается белый лед, который уменьшает проникновение солнечной радиации [22]. В последние годы в зимний период усиливается влияние водосборной территории на экосистему Онежского озера. Увеличиваются зимний сток и цветность воды в реке Шуя, втором по величине притоке Онежского озера, отмечаются признаки возрастания цветности воды в Петрозаводской губе Онежского озера [8, 13, 15]. В связи с возможным ухудшением подледной освещенности в Онежском озере, актуальными становятся исследования зимнего состояния фитопланктона.

Изучение фитопланктона Онежского озера подо льдом впервые было выполнено в 1960-е годы [9]. В марте 2015–2017 гг. подледные исследования в Петрозаводской губе Онежского озера доказали важную роль суточной динамики вертикального распределения фитопланктона в условиях лимитирования светом [12, 20]. В целом зимние исследования планктона в Онежском озере недостаточны для понимания его роли в годовом цикле формирования продуктивности экосистемы, что необходимо для уточнения биогеохимической модели этого водоема [17].

Целью настоящей работы стало изучение в апреле 2022 и 2023 гг. в Петрозаводской губе и центральном глубоководном плесе Онежского озера структурно-функциональных показателей зимнего фитопланктона в зависимости от физико-химических условий среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Онежское озеро является вторым по величине озером Европы. Площадь водосборного бассейна озера составляет 53100 кв. км, площадь озера — 9720 кв. км. Объем водной массы озера — 295 куб. км, средняя и максимальная глубина — 30 м и 120 м соответственно. В северо-западной части озера расположены крупные заливы, одним из которых является Петрозаводская губа. В вершинную часть Петрозаводской губы впадает река Шуя, второй по величине приток Онежского озера (рис. 1).

На Петрозаводской губе Онежского озера подледные исследования были выполнены 14 апреля 2022 и 20 апреля 2023 г. на станции Р_2 (глубина 25–25.7 м). В центральном плесе Онежского озера отбор проб проводился на станции С_3 20 апреля 2023 г. (глубина 43 м) (см. рис. 1).

Характеристика метеорологических условий в зимний период была выполнена на основе анализа данных по метеорологической станции г. Петрозаводска [10].

На станциях Р_2 и С_3 с помощью мультипараметрического зонда STD-90m подо льдом измеряли температуру воды. Оценка потоков фотосинтетически активной радиации (ФАР) в 2022 г. была выполнена с использованием датчиков автономной станции. В 2023 г. ФАР измеряли с помощью зонда RBR-Concerto. По методике, разработанной для озер, покрытых льдом [12], с учетом экспоненциального снижения ФАР в толще воды в зависимости от глубины, были рассчитаны коэффициенты ослабления света (K_w) и глубина фотической зоны, где достигается 1% освещения от величины поверхностной ФАР (сразу под нижней кромкой льда). Измерения толщины и послойной структуры кернов льда были выполнены с использованием гидрологической линейки.

Отбор проб воды на химический анализ осуществлялся при помощи батометра Рутнера на станции P_2 — на глубинах 1, 15, 24 м (апрель 2022 г.) и на 1, 13, 26 м (апрель 2023 г.). На станции C_3 пробы были отобраны на горизонтах 1, 10, 20, 30, 43 м. В апреле 2022 и 2023 гг. был исследован химический состав воды р. Шуя. Пробы воды на химический анализ отбирали в полиэтиленовые сосуды. Образцы воды на содержание общего фосфора ($P_{\text{общ}}$) дополнительно фиксировали подкислением серной кислотой (4N, Panreac Química S. L. U.). Определение общего фосфора проводили фотометрически с $K_2S_2O_8$ в кислой среде и последующим определением фосфатов согласно РД 52.24.387-2006. Определение минерального фосфора ($P_{\text{мин}}$) выполняли фотометрически с молибдатом аммония и аскорбиновой кислотой при



Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб в Петрозаводской губе (станция P_2) и центральном районе Онежского озера (станция C_3) в апреле 2022 и 2023 гг.; стрелкой указано устье р. Шуя.

Fig. 1. Map of sampling stations location in Petrozavodsk Bay (station P_2) and in the central part of Lake Onego (station C_3) in April 2022 and 2023; the arrow indicates the mouth of the River Shuya.

882 нм (РД 52.24.382-2019). Содержание общего органического углерода проводили высокотемпературным окислением до CO_2 на анализаторе Shimadzu TOC- L_{CSN} согласно ГОСТ Р 52991-2008. Цветность воды определяли фотометрически при 410 нм согласно ПНД Ф 14.1:2:4.207-04.

Пробы фитопланктона в апреле 2022 г. отбирали на станции Р_2 на горизонтах 1, 7.5, 15, 20, 24 м. В апреле 2023 г. пробы отбирали из поверхностного слоя воды на станциях Р_2 и С_3. Пробы воды для анализа фитопланктона фиксировали 40% раствором формалина и обрабатывали общепринятыми методами [11]. Таксономическая идентификация проводилась по определителю [21]. К доминирующим видам относили виды с численностью и биомассой более 10%, к видам-субдоминантам — более 5%. Для определения концентрации хлорофилла *a* пробы воды отбирали на станции Р_2 в апреле 2022 г. на горизонтах 1, 7.5, 15, 20, 24 м; в апреле 2023 г. — на горизонтах 1, 13 и 26 м; на станции С_3 в апреле 2023 г. — на горизонтах 1, 10, 20, 30, 43 м. Концентрацию хлорофилла *a* определяли спектрофотометрическим методом [18]. В апреле 2023 г. из поверхностного горизонта на станциях Р_2 и С_3 были отобраны образцы воды для оценки фотосинтеза, который измерялся скляночным кислородным методом [6] с точностью определения ± 6 мкг С/л в сут.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Характеристика метеорологических условий в зимний период 2021–2022 и 2022–2023 гг.

Зимой 2021–2022 гг. наиболее морозным был декабрь 2021 г. Средняя месячная температура воздуха в декабре 2021 г. была ниже климатической нормы периода 1991–2020 гг. на 4.2°C и составляла -9.9°C . Средняя месячная температура воздуха в январе–марте 2022 г. изменялась в диапазоне от -8.1 до -2.3°C , была близка к климатической норме и отклонялась от нее на 0.3 – 1.2°C . Сумма атмосферных осадков (с декабря 2021 г. по апрель 2022 г.) была равна 165 мм и составила 95% от климатической нормы (174 мм) базового периода 1991–2020 гг.

Зимой 2022–2023 гг. за пять месяцев наблюдений (декабрь 2022 г. — апрель 2023 г.) все отклонения средней месячной температуры воздуха от климатической нормы 1991–2020 гг. были положительными. Наиболее теплыми оказались январь и февраль 2023 г., когда среднемесячная температура воздуха оказалась выше нормы на 3.4°C и 2.3°C , соответственно. В остальные месяцы зимы 2022–2023 гг. средняя месячная температура воздуха превышала среднееголетние показатели на 0.3 – 0.8°C . Количество атмосферных осадков за пять месяцев зимы 2022–2023 гг. было равно 161 мм (92% от климатической нормы).

Характеристика структуры льда

В Петрозаводской губе на станции Р_2 14 апреля 2022 г. структура льда была неоднородна. Общая толщина ледяного покрова составила 49 см. Нижняя часть ледяного керна состояла из кристаллического льда толщиной 21 см, выше располагался белый лед толщиной 25 см, который был разделен прослойкой влажного снега толщиной около 3 см.

20 апреля 2023 г., на станции Р_2 в Петрозаводской губе общая толщина льда составила 31 см (в нижней части керна кристаллический лед — 29 см, в верхней части керна белый лед — 2 см). На станции С_3 общая толщина льда была равна 49 см (кристаллический лед — 48 см; белый лед — 1 см). Во время исследований в апреле 2022 и 2023 гг. снег на льду отсутствовал.

Температурные профили

Наблюдаемые в апреле 2022 и 2023 гг. температурные условия подо льдом отражали протекающие в конце зимнего периода процессы конвективного перемешивания воды. Солнечный свет проникал сквозь слой льда и нагревал верхний подледный слой воды, что вызывало конвекцию. При этом неоднородность температуры в конвективном перемешанном слое не превышала сотых долей градуса.

14 апреля 2022 г. на станции Р_2 вертикальный профиль температуры характеризовался двумя зонами (рис. 2). На глубинах от нижней поверхности льда до 15 м сформировался конвективный перемешанный слой, в пределах которого температура варьировала в диапазоне $0.37\text{--}0.39^\circ\text{C}$. В нижнем стратифицированном слое температура воды возрастала от 0.39°C , достигая у дна, на глубине 25 м, 1.81°C , что отражает влияние тепла, аккумулированного в донных отложениях.

20 апреля 2023 г. вертикальная термическая структура на станции Р_2 включала три хорошо выраженных слоя. Первый тонкий подледный градиентный слой находился на глубинах от нижней поверхности льда до 1 м, где температура изменялась в пределах $1.11\text{--}1.24^\circ\text{C}$. Затем следовал конвективный перемешанный слой от 1 м до 20 м с температурой воды $1.23\text{--}1.27^\circ\text{C}$. Нижний стратифицированный слой располагался на глубинах от 20 м до дна (25.7 м), где температура увеличивалась до 1.62°C (см. рис. 2).

На станции С_3 20 апреля 2023 г. хорошо были выражены два слоя: тонкий подледный слой на глубинах $0\text{--}1.2$ м (температура воды $0.37\text{--}0.51^\circ\text{C}$) и конвективный перемешанный слой, который располагался на глубинах от 1.2 м до 40 м с температурой воды $0.50\text{--}0.53^\circ\text{C}$. Узкий подледный холодный слой на станциях Р_2 и С_3, который располагался поверх более плотного, чуть более прогретого конвективного слоя (см. рис. 2), отражал суточную динамику гидродинамических процессов и был связан с ночным снижением температуры воздуха, которая приводила к рестратификации конвективного перемешанного слоя [12].

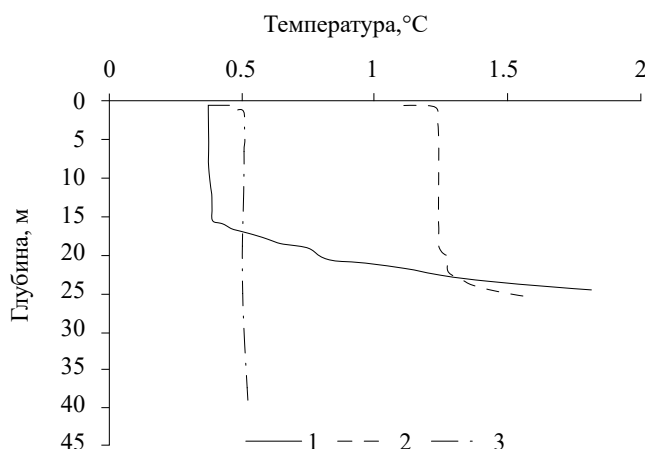


Рис. 2. Вертикальные профили температуры воды на станциях Р_2 и С_3; 1 — станция Р_2 (апрель 2022 г.); 2 — станция Р_2 (апрель 2023 г.); 3 — станция С_3 (апрель 2023 г.).

Fig. 2. Vertical profiles of water temperature at stations P_2 and C_3; 1 — station P_2 (April 2022); 2 — station P_2 (April 2023); 3 — station C_3 (April 2023).

Характеристика световых условий

По данным измерения фотосинтетически активной радиации, в Петрозаводской губе на станции Р-2, 14 апреля 2022 г. коэффициент ослабления света (K_w) составил 3.24 м^{-1} , глубина фотической зоны — 1.8 м. 20 апреля 2023 г. величина коэффициента ослабления света на станции Р_2 была равна 2.28 м^{-1} , глубина фотической зоны — 2.8 м.

По сравнению с Петрозаводской губой в центральном глубоководном районе Онежского озера сформировались иные световые условия подо льдом. 20 апреля 2023 г. на станции С_3 был выявлен значительно меньший, чем в Петрозаводской губе, коэффициент ослабления света (1.07 м^{-1}) и, как следствие, бо́льшая глубина фотической зоны (5.47 м).

Химический состав воды в районах исследований

В апреле 2022 и 2023 гг. в Петрозаводской губе на станции Р_2 во всем столбе воды отмечались повышенные уровни цветности (53–76 град Рт-Со шкалы), содержания общего органического углерода (8.13–10.0 мгС/л), общего (13–22 мкг/л) и минерального фосфора (5–7 мкг/л) (табл. 1). Бо́льшая часть фосфора в высокоцветных водах находится в комплексе с гумусовыми веществами в железосвязанной форме. Согласно классификации [7], район расположения станции Р_2 по содержанию общего фосфора характеризовался мезотрофным (среднепродуктивным) статусом.

Максимальные значения всех изученных показателей химического состава воды были зафиксированы в воде р. Шуя (см. табл. 1). Таким образом, химический состав воды залива формируется в результате смешивания низкоцветных озерных вод с высокоцветными водами р. Шуя.

Таблица 1. Показатели химического состава воды на разных глубинах на станциях Р_2 и С_3 в апреле 2022 и 2023 гг.

Table 1. Chemical composition of water at different depths at stations Р_2 and С_3 in April 2022 and 2023

Дата отбора	№ станции	Горизонт, м	Цветность, град Рт-Со шкалы	$C_{\text{орг}}$, мг/л	$P_{\text{мин}}$, мкг/л	$P_{\text{общ}}$, мкг/л
14.04.2022	Р2	1	76	9.6	6	18
14.04.2022	Р2	15	77	9.6	5	17
14.04.2022	Р2	24	53	8.1	5	13
14.04.2022	р. Шуя	0.5	147	16.8	21	52
20.04.2023	Р2	1	68	9.5	7	22
20.04.2023	Р2	13	67	9.7	6	13
20.04.2023	Р2	26	60	10.0	7	18
24.04.2023	р. Шуя	0.5	191	19.4	16	56
20.04.2023	С3	1	28	7.6	2	11
20.04.2023	С3	10	—	—	2	10
20.04.2023	С3	20	28	6.5	2	7
20.04.2023	С3	30	—	—	2	9
20.04.2023	С3	43	28	7.4	2	8

Примечание: $C_{\text{орг}}$ — общий органический углерод; $P_{\text{мин}}$ — минеральный фосфор; $P_{\text{общ}}$ — общий фосфор; прочерк — отсутствие данных.

В апреле 2023 г. в центральной части Онежского озера, на станции С_3, цветность воды, содержание органических и биогенных веществ оказались в 2–6 раз ниже, чем в Петрозаводской губе (см. табл. 1). Показатель цветности (28 град) характеризовал воды в районе станции С_3 как олигогумусные, содержание общего фосфора (8–11 мкг/л) — как олиготрофные. Низкие показатели цветности воды и содержания биогенных элементов характерны для водной толщи центрального района Онежского озера [13, 23].

Продукционные характеристики фитопланктона

Показатели хлорофилла служат для экспрессной оценки уровня развития фитопланктона и трофического статуса водоема. Содержание хлорофилла *a* на станции Р_2 в апреле 2022 и 2023 гг. было чрезвычайно низким (0.28–0.82 мкг/л) (рис. 3).

На станции С_3, в глубоководном плесе Онежского озера, 20 апреля 2023 г. концентрация хлорофилла *a* также, как и в Петрозаводской губе, была весьма низкой и изменялась в пределах 0.43–0.53 мкг/л. Согласно статистическому анализу с применением критерия Манна-Уитни, в апреле 2023 г. на станции Р_2 содержание хлорофилла было значимо ($p < 0.05$) выше, чем на станции С_3. Тем не менее, по классификации [5], все наблюдаемые величины хлорофилла *a* характеризуют районы исследований в зимний период как низкопродуктивные.

В апреле 2023 г. в Петрозаводской губе и в центре Онежского озера значения фотосинтеза фитопланктона оказались ниже пределов определения этого показателя скляночным кислородным методом, что свидетельствует о низком продукционном потенциале зимнего фитопланктона в Онежском озере.

Характеристика таксономического состава, численности и биомассы фитопланктона

В апреле 2022 и 2023 гг. фитопланктон Петрозаводской губы и центрального района Онежского озера характеризовался низким видовым богатством. Всего выявлено 44 таксона водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к семи систематическим отделам: диатомовые (*Bacillariophyta*) — 15 таксонов; зеленые (*Chlorophyta*) — 10;

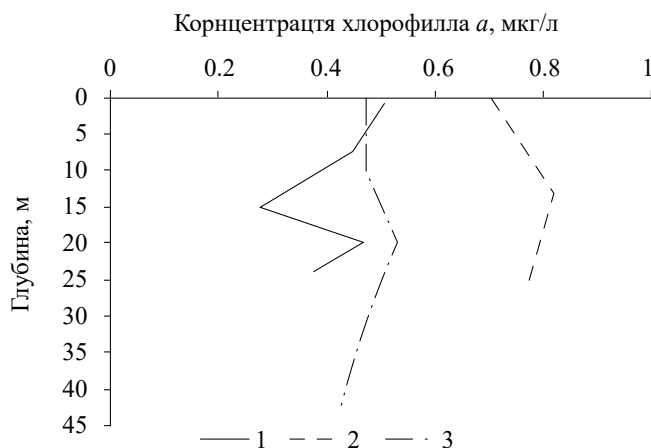


Рис. 3. Вертикальные профили хлорофилла *a* на станциях Р_2 и С_3; 1 — станция Р_2 (апрель 2022 г.); 2 — станция Р_2 (апрель 2023 г.); 3 — станция С_3 (апрель 2023 г.).

Fig. 3. Vertical profiles of chlorophyll *a* at stations Р_2 and С_3; 1 — station Р_2 (April 2022); 2 — station Р_2 (April 2023); 3 — station С_3 (April 2023).

цианобактерии (*Cyanobacteria*) — 6; золотистые (*Chrysophyta*) — 4; динофитовые (*Dinophyta*) — 3; криптофитовые (*Cryptophyta*) — 3; эвгленовые (*Euglenophyta*) — 3 таксона. Представители диатомовых, зеленых, цианобактерий и золотистых водорослей составили основу флористического состава (80% от общего списка всех видов).

На станции Р_2 зимой численность и биомасса фитопланктона были весьма низкими и варьировали на разных горизонтах в пределах 0.13–0.71 млн кл/л и 0.06–0.38 мг/л соответственно (табл. 2, 3). Диатомовые водоросли доминировали во всей толще воды (63–98% общей биомассы). При этом доля вида *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen в общей биомассе составила 38–95% (см. табл. 2, 3). Субдоминантами по вкладу в общую биомассу из диатомовых водорослей были виды *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen и *Surirella ovata* Kützing, определившими на отдельных горизонтах до 15–16% общей биомассы фитопланктона.

Кроме диатомовых водорослей, заметный вклад в общую численность фитопланктона в Петрозаводской губе вносили цианобактерии и зеленые водоросли (см. табл. 2). В апреле 2022 г. в поверхностном слое воды и на нижних горизонтах доля цианобактерий в общей численности варьировала в пределах 86–93% (см. табл. 2). Основными представителями цианобактерий были виды *Woronichinia naegeliana* (Unger) Elenkin и *Microcystis reinboldii* (Richter) Forti. Однако показатели биомассы этих видов были чрезвычайно малы: 0.002–0.006 мг/л. Среди зеленых водорослей заметный вклад (около 20%) в показатели общей численности и биомассы внесли виды *Dictyosphaerium pulchellum* Wood и *Pandorina morum* (O. Müller) Bory.

В глубоководном районе Онежского озера, на станции С_3, в апреле 2023 г. общая численность (0.18 млн кл/л) и биомасса фитопланктона (0.44 мг/л) оказались весьма низкими (см. табл. 1, 2). Вид *Aulacoseira islandica* обеспечил 40–60% общих показателей развития альгоценоза. Субдоминантными видами являлись представители диатомовых водорослей *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Haworth emend. Genkal и *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing. Вклад представителей остальных отделов (*Chrysophyta*, *Dinophyta*, *Cryptophyta*, *Euglenophyta*) в численность и биомассу фитопланктона был невелик. По классификации [5], значения биомассы зимнего фитопланктона позволяют характеризовать два района исследований Онежского озера в зимний период как низкопродуктивные.

ОБСУЖДЕНИЕ

В апреле 2022 и 2023 гг. численность и биомасса фитопланктона были очень низкими (см. табл. 2, 3). В Петрозаводской губе эти показатели, по сравнению с периодом открытой воды [1], были меньше в 4–10 раз, в центральной части Онежского озера — в 2–4 раза. Одной из причин низких количественных показателей фитопланктона и его малой активности в Петрозаводской губе в зимний период являются неблагоприятные световые условия. Узкая фотическая зона в заливе (всего 2–3 м) была связана с быстрым ослаблением света в толще воды из-за высокой цветности (табл. 4). В центральном районе Онежского озера (цветность 28 град) были выявлены меньший коэффициент ослабления света и большая глубина фотической зоны (см. табл. 4).

Важным фактором, влияющим на распространение света под льдом, является характер снежно-ледяного покрова. Существенно большая мощность белого льда и наибольший коэффициент ослабления света подо льдом были обнаружены в Петрозаводской губе в апреле 2022 г., в более холодную и снежную зиму 2021–2022 гг.

Таблица 2. Показатели общей численности фитопланктона в апреле 2022 и 2023 гг. в разных районах Онежского озера

Table 2. Parameters of the total number of phytoplankton in April 2022 and 2023 in different areas of Lake Onego

Дата	Номер станции	Горизонт, м	N, млн кл/л	Доля в общей численности, %							
				1	2	3	4	5	6	7	8
14.04.2022	P_2	1	0.71	10.4	85.6	3.4	0.2	0.3	0	0.3	6.2
		7.5	0.13	80.3	0	18.2	0	1.5	0	0	78.8
		15	0.15	76.6	0	23.4	0	0	0	0	53.2
		20	0.41	4.4	91.0	3.4	0	0	0.5	0.8	2.4
		24	0.27	5.2	92.7	0.7	0.7	0	0	0.6	4.4
20.04.2023	P_2	0.5	0.15	75.5	6.1	12.2	2.0	0	4.1	0	55.1
20.04.2023	C_3	0.5	0.18	86.0	3.5	3.5	3.5	1.8	1.8	0	40.4

Примечания: N — общая численность фитопланктона. Доли в общей численности различных представителей: 1 — Bacillariophyta; 2 — Cyanophyta; 3 — Chlorophyta; 4 — Chrysophyta; 5 — Dinophyta; 6 — Cryptophyta; 7 — Euglenophyta; 8 — вид *Aulacoseira islandica*.

Таблица 3. Показатели общей биомассы фитопланктона в апреле 2022 и 2023 гг. в разных районах Онежского озера

Table 3. Parameters of the total biomass of phytoplankton in April 2022 and 2023 in different areas of Lake Onego

Дата	Номер станции	Горизонт, м	B, мг/л	Доля в общей биомассе							
				1	2	3	4	5	6	7	8
14.04.2022	P2	1	0.26	82.3	4.7	3.8	0.2	8.8	0	0.4	58.8
		7.5	0.36	95.4	0	0.2	0	4.4	0	0	95.3
		15	0.38	90.7	0	9.3	0	0	0	0	82.8
		20	0.08	63.3	1.8	22.8	0	0	5.9	6.2	37.7
		24	0.06	85.1	9.4	3.0	0.6	0	0	2.0	84.3
20.04.2023	P_2	0.5	0.38	97.9	0.4	1.2	0.2	0	0.3	0	86.6
20.04.2023	C_3	0.5	0.44	91.5	0.3	0.1	0.1	7.7	0.2	0	58.5

Примечания: B — общая биомасса фитопланктона. Доли в общей биомассе различных представителей: 1 — Bacillariophyta; 2 — Cyanophyta; 3 — Chlorophyta; 4 — Chrysophyta; 5 — Dinophyta; 6 — Cryptophyta; 7 — Euglenophyta; 8 — вид *Aulacoseira islandica*.

Разные глубины фотической зоны в Петрозаводской губе в апреле 2022 и 2023 гг. отмечались на фоне практически одинаковой цветности воды (53–76 и 60–68 град; см. табл. 4), которая отражает концентрацию светопоглощающих гумусовых веществ. Следовательно, различие в глубине фотической зоны было связано с разной толщиной белого льда, ослабляющего проникновение света под лед.

Лимитирующая роль световых условий для развития фитопланктона в Петрозаводской губе зимой становится особенно очевидной в связи с повышенным содержанием биогенных веществ (средняя в столбе воды концентрация общего фосфора — 16.3–17.7 мкг/л, минерального фосфора — 5.3–6.7 мкг/л), соответствующих мезотрофному уровню продуктивности вод (см. табл. 4). Таким образом, в зимний период происходит смена лимитирующих факторов: развитие фитопланктона зависит от доступности света, а не от концентрации биогенных веществ.

На световые условия, важные для развития фитопланктона подо льдом, влияют процессы конвективного перемешивания, характерные для этапа подледного прогрева воды. Подледная конвекция имеет большое значение для функционирования диатомовых водорослей, оболочка клеток которых инкрустирована кремнием, вследствие чего они характеризуются отрицательной плавучестью. Восходящие потоки конвекции перемещают клетки диатомового фитопланктона из придонных слоев к поверхности воды, в узкую зону оптимальных световых условий, тем самым способствуя протеканию фотосинтетических процессов. Нисходящие потоки конвекции увлекают диатомовые водоросли в глубокие слои, куда свет не проникает, в результате чего процессы фотосинтеза затухают. Соотношение глубин фотической зоны и конвективного перемешанного слоя (ФЗ/КПС) отражает возможность

Таблица 4. Физико-химические условия и концентрация хлорофилла *a* в подледный период в разных районах Онежского озера в 2017–2023 гг. (* — данные приведены из статьи [20])

Table 4. Physical and chemical conditions and concentration of chlorophyll *a* during the under-ice period in different areas of Lake Onego in 2017–2023 (* — data according to [20])

Дата	Станция	K_w , м ⁻¹	Глубина КПС, м	Глубина ФЗ, м	ФЗ/КПС	Цветность, град Рт-Со шкалы	$P_{мин}$, мкг/л	$P_{общ}$, мкг/л	Chl, мкг/л
15–17.03.2017 (утренние измерения)	P_2*	2.74	13.39	1.69	0.13	70	6.1	16.3	0.43
15–17.03.2017 (дневные измерения)	P_2*	2.69	13.42	1.71	0.13	70	6.6	15.7	0.25
14.04.2022	P_2	3.24	15.0	1.8	0.11	69	5.3	16	0.41
20.04.2023	P_2	2.28	20	2.86	0.14	65	6.7	17.7	0.76
20.04.2023	C_3	1.07	40	5.47	0.14	28	2	9	0.47

Примечание: K_w — коэффициент ослабления света; КПС — конвективный перемешанный слой; ФЗ — фотическая зона; $P_{мин}$ — минеральный фосфор; $P_{общ}$ — общий фосфор; Chl — хлорофилл; показатели цветности воды, содержание фосфора и концентрация хлорофилла *a* усреднены для столба воды.

нахождения фитопланктона в благоприятных световых условиях [20]. Если фотическая зона окажется существенно меньше мощности перемешанного слоя, недостаток света для фитопланктона будет связан с малым временем его пребывания в верхних освещенных слоях воды.

В зимний период 2022 и 2023 гг. величина ФЗ/КПС в двух районах Онежского озера варьировала в пределах 0.11–0.14, т.е. мощность фотической зоны составляла всего 11–14% от глубины перемешанного слоя (см. табл. 4). При таких неблагоприятных световых условиях показатели развития фитопланктона и продукционный потенциал были очень низкими.

Петрозаводская губа Онежского озера испытывает влияние высокоцветных вод р. Шуи. Для анализа возможного ухудшения световых условий для развития фитопланктона в Петрозаводской губе было выполнено сравнение данных по цветности воды, содержанию общего и минерального фосфора, концентрациям хлорофилла *a*, полученным в марте 2017 г. [20], и в апреле 2022 и 2023 гг. (см. табл. 4). Применение непараметрического критерия Крускала–Уоллиса показало отсутствие значимых различий ($p > 0.05$) между сравниваемыми массивами данных.

Выполненные в апреле 2022 и 2023 гг. зимние исследования выявили ряд трудностей, связанных, главным образом, с малой доступностью центральных глубоководных участков Онежского озера в конце ледостава. Для проведения подледных исследований было использовано судно на воздушной подушке, а безопасность при проведении работ обеспечивалась сотрудниками Карельской республиканской поисково-спасательной службой (ГКУ Республики Карелия КРПСС). В последние годы чаще отмечаются случаи неполного замерзания Онежского озера. Так, в условиях аномально теплой зимы 2019–2020 гг. впервые за 65-летнюю историю наблюдений на большей части открытого плеса Онежского озера отсутствовал ледовый покров. В связи с этим в весенний период 2020 г. в открытом плесе и в заливах озера наблюдалось смещение гидрологических и фенологических фаз развития фитопланктона на более ранние сроки [3, 4]. Поскольку зимние условия влияют на физические, химические и биологические процессы в водоемах в весенний и летний сезоны, для учета последствий климатических изменений важной задачей является проведение междисциплинарных исследований зимнего состояния больших озер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным представителем фитопланктона в Онежском озере в зимний период был абсолютный доминант по численности и биомассе — вид *Aulacoseira islandica* из группы диатомовых водорослей. Анализ динамики физико-химических условий обитания фитопланктона подо льдом в Петрозаводской губе за период 2017–2023 гг. показал высокие уровни цветности воды, содержания органических и биогенных веществ, что сопровождалось весьма низким уровнем развития фитопланктона. Показатели зимнего фитопланктона Онежского озера были многократно меньше уровней его развития в другие сезоны года. Причиной весьма низкой продуктивности зимнего фитопланктона в Петрозаводской губе являются неблагоприятные световые условия, связанные с высокой цветностью воды из-за повышенной концентрации аллохтонных окрашенных органических веществ. В глубоководном центральном районе Онежского озера низкую потенциальную возможность развития фитопланктона определяют неблагоприятные световые условия, связанные с большими глубинами конвективного перемешанного слоя.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных проблем Севера Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр РАН”.

Химический анализ проб воды, отобранных в 2023 г., проведен за счет средств гранта РНФ 22-17-00193. Исследование выполнено с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вислянская И. Г.* Структура и динамика биомассы фитопланктона / Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. С. 146–158.
2. *Диагноз и прогноз термогидродинамики и экосистем великих озер России* / Под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2020. 260 с.
3. *Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Пальшин Н. И., Ефремова Т. В.* Сезонная и межгодовая изменчивость температуры воды в Петрозаводской губе Онежского озера. Известия Русского географического общества. 2023. Т. 155, вып. 3–4. С. 47–61.
<https://doi.org/10.31857/S0869607123030126>
4. *Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Ефремова Т. В., Пальшин Н. И., Назарова Л. Е., Баклагин В. Н., Здоровеннов Р. Э., Смирнова В. С.* Реакция экосистемы Онежского озера в весенне-летний период на аномально высокую температуру воздуха зимы 2019/2020 годов // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 6. С. 888–899.
<https://doi.org/10.31857/S2587556621060078>
5. *Китаев С. П.* Основы гидробиологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
6. *Кузнецов С. И., Дубинина Г. А.* Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
7. *Лозовик П. А.* Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 6. С. 583–592.
<https://doi.org/10.7868/S0321059613060072>
8. *Назарова Л. Е., Исакова К. В., Калинкина Н. М., Балаганский А. Ф.* Влияние потепления климата на зимний сток реки Шуя и последствия для зообентоса Онежского озера // Известия Русского географического общества. 2022. Т. 154, вып. 1. С. 28–36.
<https://doi.org/10.31857/S0869607122010086>
9. *Петрова Н. А.* Фитопланктон Онежского озера / Растительный мир Онежского озера. Под ред. И. М. Распопова. Л.: Наука, 1971. С. 88–130.
10. Федеральная служба РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Сайт. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 15.05.2024)
11. *Федоров В. Д.* О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во МГУ, 1979. 167 с.
12. *Bouffard D., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E., Pasche N., Wüest A., Terzhevik A. Y.* Ice-covered Lake Onega: effects of radiation on convection and internal waves // Hydrobiologia. 2016. Vol. 780. P. 21–36. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2915-3>
13. *Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M.* Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations //

Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2022. Vol. 17.

<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100619>

14. Hampton S. E., Galloway A. W. E., Powers S. M., Ozersky T., Woo K. H., Batt R. D. et al. Ecology under lake ice // Ecology Letters. 2017. Vol. 20. № 1. P. 98–111. <https://doi.org/10.1111/ele.12699>

15. Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A., Zobkov M., Ryzhakov A. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46. P. 850–861. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.02.008>

16. Ozersky T., Bramburger A. J., Elgin A. K., Vanderploeg H. A., Wang J., Austin J. A. et al. The changing face of winter: Lessons and questions from the Laurentian Great Lakes // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2021. Vol. 126. № 6. <https://doi.org/10.1029/2021JG006247>

17. Savchuk O. P., Isaev A. V., Filatov N. N. Three-dimensional hindcast of nitrogen and phosphorus biogeochemical dynamics in Lake Onego ecosystem, 1985–2015. Part II. Seasonal dynamics and spatial features; integral fluxes // Fundamental and Applied Hydrophysics. 2022. Vol. 15. № 2. P. 98–109. <https://doi.org/10.48612/fpg/9mg5-run6-4zr8>

18. Determination of photosynthetic pigments in sea waters. Report of SCOR/UNESCO Working Group 17. Paris, France, UNESCO. 1966. 69 p. <https://doi.org/10.25607/OBP-1940>

19. Sharma S., Blagrove K., Magnuson J. J., O'Reilly C. M., Oliver S., Batt R. D. et al. Widespread loss of lake ice around the Northern Hemisphere in a warming world // Nature Climate Change. 2019. Vol. 9. P. 227–231. www.nature.com/natureclimatechange

20. Suarez E. L., Tiffay M.-C., Kalinkina N., Tchekryzheva T., Sharov A., Tekanova E. et al. Diurnal variation in the convection-driven vertical distribution of phytoplankton under ice and after ice-off in large Lake Onego (Russia) // Inland Waters. 2019. Vol. 9. № 2. P. 193–204. <https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1559582>

21. Tikkanen T. Kasviplanktonopas. 1986. Helsinki: Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy.

22. Weyhenmeyer G. A., Obertegger U., Rudebeck H., Jakobsson E., Jansen J., Zdrovennova G. et al. Towards critical white ice conditions in lakes under global warming // Nature communications. 2022. Vol. 13. № 4974. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32633-1>

23. Zobkov M., Zobkova M., Galakhina N., Efremova T., Efremenko N., Kulik N. Data on the chemical composition of Lake Onego water in 2019–2021 // Data in Brief. 2022. Vol. 42. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108079>

Development of Winter Phytoplankton of Lake Onego in Connection with Physical and Chemical Conditions of the Environment

N. M. Kalinkina^{1,*}, V. S. Smirnova^{1,**},
Yu. L. Slastina^{1,***}, R. E. Zdrovennov^{1,****},
G. E. Zdrovennova^{1,*****}, M. B. Zobkov^{1,*****},
E. V. Tekanova^{1,*****}, L. E. Nazarova^{1,*****}

¹Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

*E-mail: cerioda@mail.ru

**E-mail: smirnovvalera24@yandex.ru

***E-mail: jls@inbox.ru

****E-mail: romga74@gmail.com

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

*****E-mail: ya-mikhailz@yandex.ru

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

*****E-mail: larisanazarov@yandex.ru

Abstract – The article represents development of winter phytoplankton in different areas of Lake Onego in relation to temperature, light conditions, water color, organics and nutrients concentrations. In April 2022 and 2023, right before the ice break-up, low phytoplankton development was observed. The coldwater species of diatoms *Aulacoseira islandica* was the main representative of winter phytoplankton. The total abundance, phytoplankton biomass and chlorophyll *a* concentration varied within the range of 0.13–0.71 million cells/l, 0.06–0.44 mg/l and 0.3–0.8 µg/l, respectively. As a result, Petrozavodsk Bay and the central deep-water part of Lake Onego in winter were characterized as low productivity. The low winter phytoplankton abundance in Petrozavodsk Bay is due to a high water color, which determines the shallow depth of the photic zone and, in addition, deep convective mixing of the water column. In the central part of Lake Onego, the limiting factors for the development of winter phytoplankton were unfavorable light conditions due to the large depth of the convectively mixed layer.

Keywords: Lake Onego, winter, meteorological conditions, water temperature, convection, euphotic zone, organic matter, nutrients, phytoplankton, chlorophyll *a*

REFERENCES

1. Vislyanskaya I. G. Struktura i dinamika biomassy fitoplanktona / Onezhskoe ozero. Ekologicheskie problemy. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 1999. S. 146–158.
2. Diagnostika i prognoz termogidrodinamiki i ekosistem velikih ozer Rossii / Pod red. N. N. Filatova. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN. 2020. 260 s.
3. Zdorovenнова G. E., Zdorovenнов R. E., Pal'shin N. I., Efremova T. V. Sezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost' temperatury vody v Petrozavodskoj gube Onezhskogo ozera. Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2023. T. 155, vyp. 3–4. S. 47–61.
<https://doi.org/10.31857/S0869607123030126>
4. Kalinkina N. M., Tekanova E. V., Efremova T. V., Pal'shin N. I., Nazarova L. E., Baklagin V. N., Zdorovenнов R. E., Smirnova V. S. Reakciya ekosistemy Onezhskogo ozera v vesenne-letnij period na anomal'no vysokuyu temperaturu vozduha zimy 2019/2020 godov // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2021. T. 85. № 6. S. 888–899. <https://doi.org/10.31857/S2587556621060078>
5. Kitaev S. P. Osnovy gidrobiologii dlya gidrobiologov i ihtologov. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2007. 395 s.
6. Kuznecov S. I., Dubinina G. A. Metody izucheniya vodnyh mikroorganizmov. M.: Nauka, 1989. 288 s.
7. Lozovik P. A. Geohimicheskaya klassifikaciya poverhnostnyh vod gumidnoj zony na osnove ih kislotno-osnovnogo ravnovesiya // Vodnye resursy. 2013. T. 40. № 6. S. 583–592.
<https://doi.org/10.7868/S0321059613060072>
8. Nazarova L. E., Isakova K. V., Kalinkina N. M., Balaganskij A. F. Vliyanie potepleniya klimata na zimnij stok reki SHuya i posledstviya dlya zoobentosa Onezhskogo ozera // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2022. T. 154, vyp. 1. S. 28–36.
<https://doi.org/10.31857/S0869607122010086>
9. Petrova N. A. Fitoplankton Onezhskogo ozera / Rastitel'nyj mir Onezhskogo ozera. Pod red. I. M. Raspopova. L.: Nauka, 1971. S. 88–130.
10. Federal'naya sluzhba RF po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchej sredy. Sajt. Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut gidrometeorologicheskoy informacii — mirovoj centr dannyh. URL: <http://meteo.ru/data> (data obrashcheniya: 15.05.2024)
11. Fedorov V. D. O metodah izucheniya fitoplanktona i ego aktivnosti. M.: Izd-vo MGU, 1979. 167 s.

12. Bouffard D., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E., Pasche N., Wüest A., Terzhevik A. Y. Ice-covered Lake Onega: effects of radiation on convection and internal waves // *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 780. P. 21–36. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2915-3>
13. Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2022. Vol. 17. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100619>
14. Hampton S. E., Galloway A. W. E., Powers S. M., Ozersky T., Woo K. H., Batt R. D. et al. Ecology under lake ice // *Ecology Letters*. 2017. Vol. 20. № 1. P. 98–111. <https://doi.org/10.1111/ele.12699>
15. Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A., Zobkov M., Ryzhakov A. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? // *Journal of Great Lakes Research*. 2020. Vol. 46. P. 850–861. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.02.008>
16. Ozersky T., Bramburger A. J., Elgin A. K., Vanderploeg H. A., Wang J., Austin J. A. et al. The changing face of winter: Lessons and questions from the Laurentian Great Lakes // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2021. Vol. 126. № 6. <https://doi.org/10.1029/2021JG006247>
17. Savchuk O. P., Isaev A. V., Filatov N. N. Three-dimensional hindcast of nitrogen and phosphorus biogeochemical dynamics in Lake Onego ecosystem, 1985–2015. Part II. Seasonal dynamics and spatial features; integral fluxes // *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2022. Vol. 15. № 2. P. 98–109. <https://doi.org/10.48612/fpg/9mg5-run6-4zr8>
18. Determination of photosynthetic pigments in sea waters. Report of SCOR/UNESCO Working Group 17. Paris, France, UNESCO. 1966. 69 p. <https://doi.org/10.25607/OBP-1940>
19. Sharma S., Blagrove K., Magnuson J. J., O'Reilly C. M., Oliver S., Batt R. D. et al. Widespread loss of lake ice around the Northern Hemisphere in a warming world // *Nature Climate Change*. 2019. Vol. 9. P. 227–231. www.nature.com/natureclimatechange
20. Suarez E. L., Tiffay M.— C., Kalinkina N., Tchekryzheva T., Sharov A., Tekanova E. et al. Diurnal variation in the convection-driven vertical distribution of phytoplankton under ice and after ice-off in large Lake Onego (Russia) // *Inland Waters*. 2019. Vol. 9. № 2. P. 193–204. <https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1559582>
21. Tikkanen T. Kasviplanktonopas. 1986. Helsinki: Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy.
22. Weyhenmeyer G. A., Obertegger U., Rudebeck H., Jakobsson E., Jansen J., Zdorovenova G. et al. Towards critical white ice conditions in lakes under global warming // *Nature communications*. 2022. Vol. 13. № . 4974. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32633-1>
23. [23] Zobkov M. Zobkova M., Galakhina N., Efremova T., Efremenko N., Kulik N. Data on the chemical composition of Lake Onego water in 2019–2021 // *Data in Brief*. 2022. Vol. 42. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108079>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Калинкина Наталия Михайловна — автор для переписки

Руководитель лаборатории гидробиологии, ведущий научный сотрудник, Доктор биологических наук, Институт водных проблем Севера, Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”, 185030, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, д. 50, ИВПС КарНЦ РАН. Карельское отделение РГО, состоит членом Общества с 01.01.2010 г., номер членского билета 9161–10.

e-mail: cerioda@mail.ru

тел.: 8 921 455-55-47

Kalinkina Nataliia Mikhailovna

Corresponding author, Dr.Sc., Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Hydrobiology, Leading Researcher, 185030, Petrozavodsk, A. Nevsky prospect, 50, NWPI KarRC RAS. Member of the Society since 01.01.2010. Karelian branch of the Russian Geographical Society. membership card number 9161-10.

e-mail: cerioda@mail.ru

тел.: 8 921 455-55-47

Смирнова Валерия Сергеевна

Младший научный сотрудник, Институт водных проблем Севера, Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”.

e-mail: smirnovvalera24@yandex.ru

Smirnova Valeria Sergeevna

Junior researcher, Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences.

e-mail: smirnovvalera24@yandex.ru

Сластина Юлия Леонидовна

Младший научный сотрудник, Институт водных проблем Севера, Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”.

e-mail: jls@inbox.ru

Slastina Yulia Leonidovna

Junior Researcher, Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences.

e-mail: jls@inbox.ru

Здоровеннов Роман Эдуардович

Старший научный сотрудник, кандидат географических наук, Институт водных проблем Севера, Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”.

e-mail: romga74@gmail.com

Zdorovennov Roman Eduardovich

PhD, Senior Researcher, Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences.

e-mail: romga74@gmail.com

Здоровеннова Галина Эдуардовна

Руководитель лаборатории гидрофизики, старший научный сотрудник, кандидат географических наук, Институт водных проблем Севера, Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”.

e-mail: zdorovennova@gmail.com

Zdorovennova Galina Eduardovna

PhD, Head of the Laboratory of Hydrophysics, Senior Researcher, Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences.

e-mail: zdorovennova@gmail.com

Зобков Михаил Борисович

Руководитель лаборатории гидрохимии и гидрогеологии, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, Институт водных проблем Севера, Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”.

e-mail: ya-mikhailz@yandex.ru

Zobkov Mikhail Borisovich

PhD, Head of the Laboratory of Hydrochemistry and Hydrogeology, Senior Researcher, Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences.

e-mail: ya-mikhailz@yandex.ru

Теканова Елена Валентиновна

Старший научный сотрудник, кандидат биологических наук, Институт водных проблем Севера, Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН”.

e-mail: etekanova@mail.ru

Tekanova Elena Valentinovna

PhD, Senior Researcher, Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences.

e-mail: etekanova@mail.ru

Назарова Лариса Евгеньевна

Кандидат географических наук, Карельское отделение РГО, член Общества с 08.05.2008 г., номер членского билета 9158-10, на пенсии.

e-mail: larisazarov@yandex.ru

Nazarova Larisa Evgenievna,

PhD, Karelian branch of the Russian Geographical Society, a member of the Society since 05.08.2008, membership card number: 9158-10, retired.

e-mail: larisazarov@yandex.ru

УДК 911.3 (571.53)

СОВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СЕЛЬСКОГО РАССЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЛЕНЬЯ, ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2024 г. Н. В. Воробьев^{а, *}, А. Н. Воробьев^{а, **}, Д. В. Маргеева^{а, b, ***}

^аИнститут географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

^бООО Образовательный центр “Точка”, Иркутск, Россия

*E-mail: nikvly54@gmail.com

**E-mail: tore12@yandex.ru

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

Поступила в редакцию 01.07.2024 г.

После доработки 16.11.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

Настоящее исследование направлено на взаимосвязанное изучение расселения, динамики и миграционной концентрации населения в пределах глубинных сибирских районов. Рассмотрена трансформация расселения Верхнеленских районов (Жигаловского и Качугского) Иркутской области как пример сжатия системы сельского расселения. Использовались ретроспективный, статистический, картографический и сравнительно-географический методы; за единицы статистического наблюдения взяты населенные пункты и сельские муниципальные образования. Для выявления особенностей размещения населения применен дазиметрический способ. Контуры сплошь заселенных местностей вычислялись и прочерчивались радиусом в 3 км от границ населенного пункта. Смыкающиеся пятна образуют сплошь заселенные пространства, от которых отходят линейно-полосные элементы расселения, дислоцированные по путям старых коммуникаций (рек и дорог). Исследуемая территория Верхнеленья в основном неоднородно заселена, с редкой сетью поселений преимущественно очагового характера. Выявлены особенности, тенденции и детализация динамики населения с учетом реального размещения населения. Негативным последствием динамики населения является снижение доли верхнеленских районов в населении Иркутской области с пяти до одного процента за период 1939–2024 гг. В настоящее время ареалы расселения сформировались вдоль транспортных коммуникаций и речных долин, наибольшая плотность населения сохранилась в радиусе 60-минутной доступности от районных центров. Современные рыночные условия через усиление экономических и экономико-географических контрастов, выраженных через главные элементы каркаса расселения в виде центров и местных магистралей, воздействуют на демографические и производственные процессы, а далее на расселение.

Ключевые слова: расселение, сжатие расселения, глубинные территории, сельская местность, редконаселенный регион, плотность населения, динамика населения, Верхнеленья

DOI: 10.31857/S0869607124040091, EDN: MOASMN

ВВЕДЕНИЕ

Научная проблема географического исследования развития сельских территорий формулируется как поиск взаимосвязи между расселением, динамикой и миграцией населения на локальном (в населенных пунктах и ареалах расселения,

муниципальных поселениях) и субрегиональном уровне (муниципальных районах). Линейно-узловой характер каркаса региональной системы Сибири выражается в том, что при значительной рассредоточенности населения и производства по множеству пунктов на обширных площадях реальными узлами концентрации и роста населения являются региональные центры и их пригородные районы, находящиеся на основных транспортных магистралях, при этом периферийные (глубинные) территории являются местами депопуляции.

Цель настоящего исследования заключается во взаимосвязанном изучении расселения, динамики и миграционной концентрации населения в пределах глубинных сибирских районов (на примере Верхнеленья). Для достижения исследовательской цели предлагается решить следующие задачи:

- оценить пространственно-временные особенности формирования расселения;
- определить тенденции миграционной концентрации населения глубинных территорий;
- выявить основные взаимосвязи концентрации и рассредоточения населения с особенностями размещения и динамики экономической (хозяйственной) деятельности.

Полигоном исследования принята территория в границах двух муниципальных районов (Жигаловского и Качугского) Иркутской области (рис. 1). Территория Верхнеленья относится к числу глубинных районов, то есть удаленных от основных центров (Качуг-Иркутск — 260 км, Жигалово-Иркутск — 395 км), и транспортных магистралей (от Качуга до Иркутска на Транссибе — 260 км, от Жигалово до Магистрального на БАМе — 300 км). Территории Верхнеленья (6.9% общей площади Иркутской области) относительно мало освоены и редко заселены, имеются большие запасы минерально-сырьевых, лесных и водных ресурсов, имеется сеть сельских населенных мест и два поселка городского типа, выполняющих функции райцентров.

Территория Жигаловского и Качугского районов расположена в верховьях р. Лены, основная часть расположена на Лено-Ангарском плато. Жигаловский район расположен на наиболее приподнятой части Лено-Ангарского плато с абсолютными высотами 900–1000 м, территория Качугского района включает также частично Предбайкальскую впадину и северную окраину Онотской возвышенности.

Жигаловский район характеризуется высокой лесистостью, небольшие площади занимают остепненные леса, пойменные луга и болота, в связи с чем район характеризуется низкой сельскохозяйственной освоенностью. Растительный покров Качугского района отличается большим разнообразием, что вызвано особенностями рельефа и значительной нарушенностью коренных насаждений. Наиболее освоены долины крупных рек, в том числе распаханы степные участки в окрестностях Качуга, пойменная растительность в нижнем течении р. Куленги используется для выпаса скота [6]. Климат рассматриваемой территории — резко-континентальный. Ландшафтно-климатические условия определили особенности развития хозяйства на рассматриваемых территориях. Сельское хозяйство в Качугском районе получило большее развитие, преимущественно животноводство мясомолочного направления. На территории районов ведется лесозаготовка. В Жигаловском районе идет освоение Ковыктинского газоконденсатного месторождения.

Исторически складывалась транспортно-логистическая направленность районов в верхнем течении р. Лены. Верховья Лены были до 1950-х годов одним из важнейших судоходных участков на реках Иркутской области. После строительства

железнодорожной ветки Тайшет–Лена доставка грузов до г. Усть-Кута стала осуществляться не сплавом (500 км), а более дешевым железнодорожным транспортом. Также в связи с обмелением р. Лены в верхнем течении судоходство и его обслуживание, грузо- и пассажироперевозки со временем утратили свое значение, причем в Качугском районе практически полностью. В середине 1990-х годов Качугская судовой верфь, пройдя процедуру банкротства, прекратила свое существование. Жигаловская ремонтно-эксплуатационная база функционирует по настоящее время [17].

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Географический подход к изучению сельского расселения России был заложен С. А. Ковалевым [19] как к совокупности населенных пунктов на определенной территории в некоторый момент времени. В постсоветский период наблюдается усиление интереса к тематике географии сельского расселения [1; 2; 14; 16; 26; 27 и др.]. Надо отметить, что растет поток разнообразных работ по проблемам сельской местности, сельских территорий [4; 25], сельских агломераций [18] и другие.

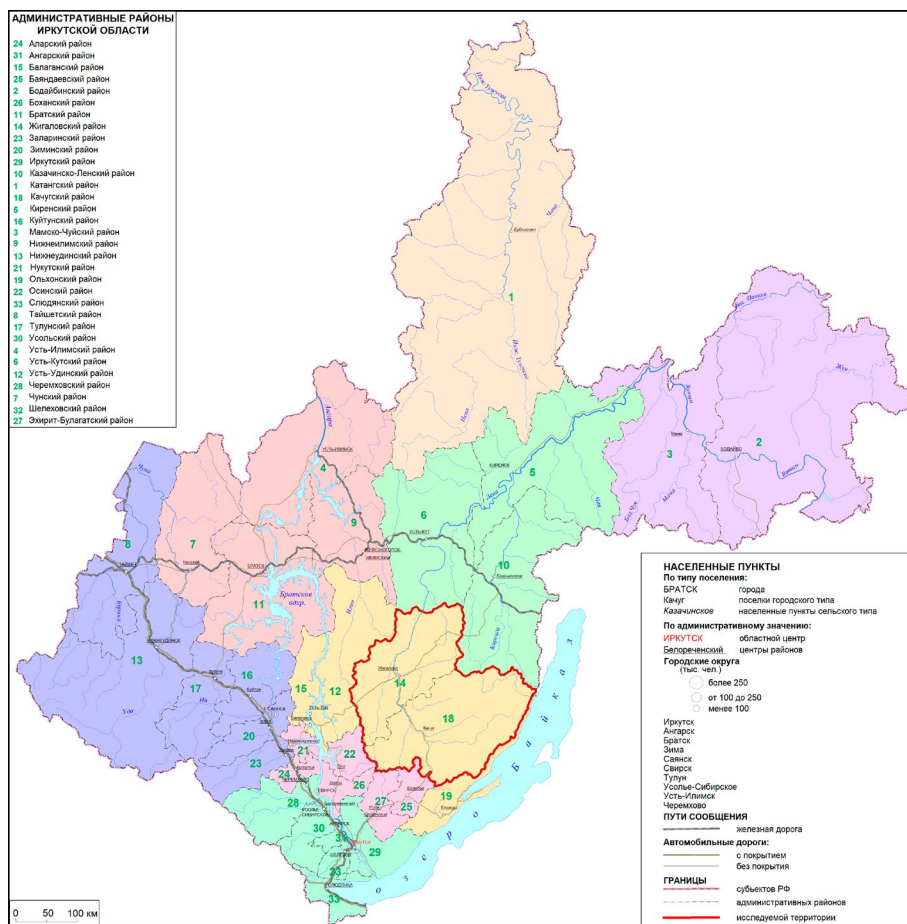


Рис. 1. Географическое положение Верхнеленья в Иркутской области.

Fig. 1. Geographical location of Verkhne-Lenye in the Irkutsk region.

Возникновение постоянных населенных пунктов на территории Верхнелены относится к XVII веку и связано с освоением Сибири. Ко времени прихода русских в Восточную Сибирь бурятские племена были уже расселены по многим территориям современной Иркутской области, в том числе эхириты — по верховьям Куды, Лены и ее притокам Манзурке и Анге (Качугский район) [15]. Расселение бурятского населения изначально происходило в пригодной для скотоводства лесостепной зоне, в южной части региона на удалении от речных путей. В исследовании Б. З. Нанзатова (2018) на богатом фактическом материале рубежа XIX–XX вв. показаны в форме текста, таблиц и карт административные образования верхоленских бурят, земли, принадлежащие бурятским родам, численность бурятского населения, картина расселения бурят по нескольким десяткам улусов [23].

Дальнейшая колонизация региона значительно сузила места расселения бурят, однако на данных территориях до сих пор сохранились населенные пункты — бывшие бурятские улусы. В нескольких относительно малолюдных населенных пунктах южной степной части Качугского района буряты составляют большинство населения, например, Магдан — 77 из 78 чел.; Босогол — 41 из 77; Хальск — 46 из 80; Сутай — 27 из 45, Обхой — 22 из 35 чел. и др. В северной таежной части Качугского района существуют эвенкийские поселения Вершина Тутуры (130 эвенков из 159 чел. населения), малочисленные Тырпа и Чинонга.

Основным каркасом расселения русского населения служила река Лена. Между основными опорными пунктами по рекам формировались цепочки русских поселений и транспортные связи. Географические проблемы развития глубинных сибирских территорий всегда привлекали внимание. Такой местностью являлись территории в верховьях р. Лены, здесь в конце советского периода рассматривались перспективы создания Верхнеленского территориально-производственного комплекса. Особенное внимание усилилось с открытием (1987 г.) Ковыктинского месторождения газа.

Крупное исследование формирования и развития систем расселения в Иркутской области, с упором на процессы урбанизации и развития городского расселения, было проведено в конце советского периода [22].

В работе по транспортно-расселенческой освоенности территории Иркутской области Жигаловско-Качугский ареал оценивался преимущественно в связи с предстоящей промышленной разработкой (увеличение численности населения, укрупнение существующих населенных пунктов) Ковыктинского месторождения газа. Логично считалось, что строительство газопровода и расширение сети автодорог привлечет дополнительную рабочую силу и даст толчок развитию местной сети сельских поселений [5, с. 18]. Однако газодобыча наполняет магистральный трубопровод “Сила Сибири”, ведущий из Ковыкты через Чаянду (в Якутии) в Китай. В процессе подготовки газа к транспорту из него выделяется газовый конденсат и поставляется по конденсатопроводу длиной более 170 км на терминал отгрузки в пос. Окунайский на Байкало-Амурской магистрали.

Разработка месторождения ведется вахтовым методом, не влияя существенно на местную социально-экономическую ситуацию, депопуляция территории продолжается, снижается людность поселений.

Авторы в предшествующих работах разрабатывали вопросы размещения населения [9] и динамики населения в разрезе населенных пунктов и ареалов расселения Иркутской области [12]. Д. В. Маргеевой дан подробный анализ вековой (1926—

2023 гг.) трансформации системы сельского расселения на примере Качугского района [21]. Прорабатывались вопросы географии населения от макрорегионального уровня в монографиях по Сибири [11; 13] до отдельных административных районов (Географическая энциклопедия Иркутской области) [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Информационную базу исследования составили статистические материалы Базы данных показателей муниципальных образований (БД ПМО) Федеральной службы государственной статистики. За первичные единицы наблюдения приняты населенные пункты (103), городские (2) и сельские поселения (22) и муниципальные районы (2) Иркутской области (см. табл. 1). Данные по населенным пунктам взяты из материалов переписей населения и текущего учета Иркутскстата (например, данные о численности населения)¹.

Таблица 1. Долгосрочная динамика населения Верхнеленья на фоне Иркутской области в 1939–2023 гг.

Table 1. Long-term dynamics of the population of Verkhnelenye against the background of the Irkutsk region in 1939–2023

Показатель	территории				
	Жигаловский район	Качугский район	Верхнеленье, всего	Иркутская область	Доля Верхнеленья в области, %
Площадь территории, км ²	21824	31395	53219	774846	6.9
1939 г.					
Численность населения, чел	22527	46081	68608	1286696	5.3
Населенные пункты, ед.	99	154	253	3220	7.9
2023 г.					
Численность населения, чел	8975	15292	24267	2344360	1.0
Населенные пункты, ед.	37	76	103	1531	6.7

Использовались ретроспективный, статистический, картографический и сравнительно-географический методы; за единицы статистического наблюдения взяты населенные пункты и сельские муниципальные образования.

Ретроспективный метод позволяет просмотреть длительную историческую динамику населения и населенных пунктов Верхнеленья на фоне Иркутской области за 1939–2023 гг.

Статистический метод дает детальное видение современного расселения, распределения населенных пунктов по людности, динамике численности населения за 1989–2023 гг.

¹ Численность населения на 1 января 2023 г. Статистический бюллетень. — Иркутск: Иркутскстат, 2023.

Картографический метод визуализирует размещение населенных пунктов, ареалов расселения и динамику демографических показателей для сравнительно-географического анализа. Для картографирования населенных пунктов были выбраны два способа: значковый для изображения самих населенных пунктов и способ дазиметрический для изображения ареалов расселения [9; 12].

При составлении карты ареалов расселения важнейшим был вопрос о выборе величины обводки населенных пунктов, так как малый размер обводки (1 км), оставляющий огромные белые пятна между населенными пунктами, непригоден для малонаселенного региона, а большой (10 км) ложно вовлекает незаселенные территории в систему расселения. Выбор величины радиуса обводки (3 км вокруг населенного пункта) обусловлен двумя обстоятельствами: во-первых, соответствует определенному качественному рубежу — часовой пешеходной доступности территории; во-вторых, сохраняет преемственность и сравнимость с уже существующими картами Иркутской области [3] и стенной картой Население Юга Восточной Сибири [8].

Сравнительно-географический метод показывает различия между районами, населенными пунктами, ареалами расселения и иными единицами наблюдения по всему спектру географических и демографических показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исторически расселение населения на территории Верхнеленя происходило большей частью вдоль р. Лены, по оси Приленского тракта (Иркутск — Усть-Ордынский — Баяндай — Качуг — Жигалово), сохранившейся по настоящее время (рис. 2).

Рассчитанные дазиметрическим способом ареалы расселения совпадают на картах с основными осями расселения. По данным 2023 г. в Верхнеленском регионе ареалы расселения составляют 4680 км² (8.8%), а незаселенные территории — 48539 км² (91.2%). Средняя плотность населения всего региона — 0.53 чел/км², а без учета незаселенных территорий только в заселенных ареалах — 5.16 чел/км².

Как видно на картах (рис. 2–4), в обоих районах выделяется основная ось расселения, субмеридионального направления, начинающаяся на юге от границ Баяндаевского района, проходящая через Качуг и доходящая на севере до Жигалово, и выражены второстепенные оси расселения, приуроченные к рекам и дорогам:

— ось по р. Куленга в Качугском районе, по левому берегу которой в XVII–XVIII вв. проходила одна из ветвей Якутского тракта из Иркутска на Верхолениск, но большого торгового значения не имела, и не создала плотной сети населенных мест [10, с. 1109];

— ось по дороге Качуг — Большая Тарель, на которой располагались крупные населенные пункты: с. Залог, с. Бирюлька — опорные пункты расселения для мелких населенных пунктов, утратившие свое значение, сеть расселения значительно сократилась;

— ось по р. Большая Ангa, протяженностью 40 км (Качуг — Ангa — Кузнецы);

— ось по дороге Жигалово—Балаганск—Залари, протянувшаяся на 55 км от Жигалово до д. Тыпта;

— ось по р. Илга от Лукиново до Усть-Илги (в Жигаловском районе);

— ось по р. Тутура от Жигалово до Чикана, это начало пути к вахтовому жилому комплексу Нючакан на Ковыктинском месторождении и далее до пос. Окунайцкое и пгт. Магистрального на БАМе;

— пунктирное продолжение основной оси расселения по р. Лене к северу от Жигалово с редкой сетью приречных деревень.

Система расселения рассматриваемой территории может быть охарактеризована как линейно-узловая (рис. 3).

Таким образом, расширение системы расселения происходило на рассматриваемых территориях с середины XVII в. и прекратилось на рубеже 20–30-х гг. XX в. В дальнейшем на территории обоих районов началось сжатие системы расселения с разрежением сети сельских населенных пунктов. Длительное время, начиная с 1950-х гг., Верхнеленье относилось к числу территорий с сокращением численности населения, когда миграционная убыль превышает естественный прирост населения [9]. Численность населения Жигаловского района на 1989 год составила 11.0 тыс. чел., в том числе сельское население составило 49% от общей численности (табл. 2). Численность населения Качугского района на 1989 год составила 23.0 тыс. чел., в том числе сельское население — 61% от общей численности.



Рис. 2. Населенные пункты и ареалы расселения, 2023 г.

Fig. 2. Settlements and settlement areas.

Таблица 2. Динамика численности населения районов Верхнеленья (тыс. чел.)

Table 2. Population dynamics of the Verkhnelenye districts

Год переписи населения	Численность населения Качугского района		Численность населения Жигаловского района	
	общая	сельское население	общая	сельское население
1989	23.0	14.1	11.0	5.4
2002	20.5	12.8	10.4	5.0
2010	17.4	10.4	9.3	4.0
2020	15.3	8.9	9.0	3.5

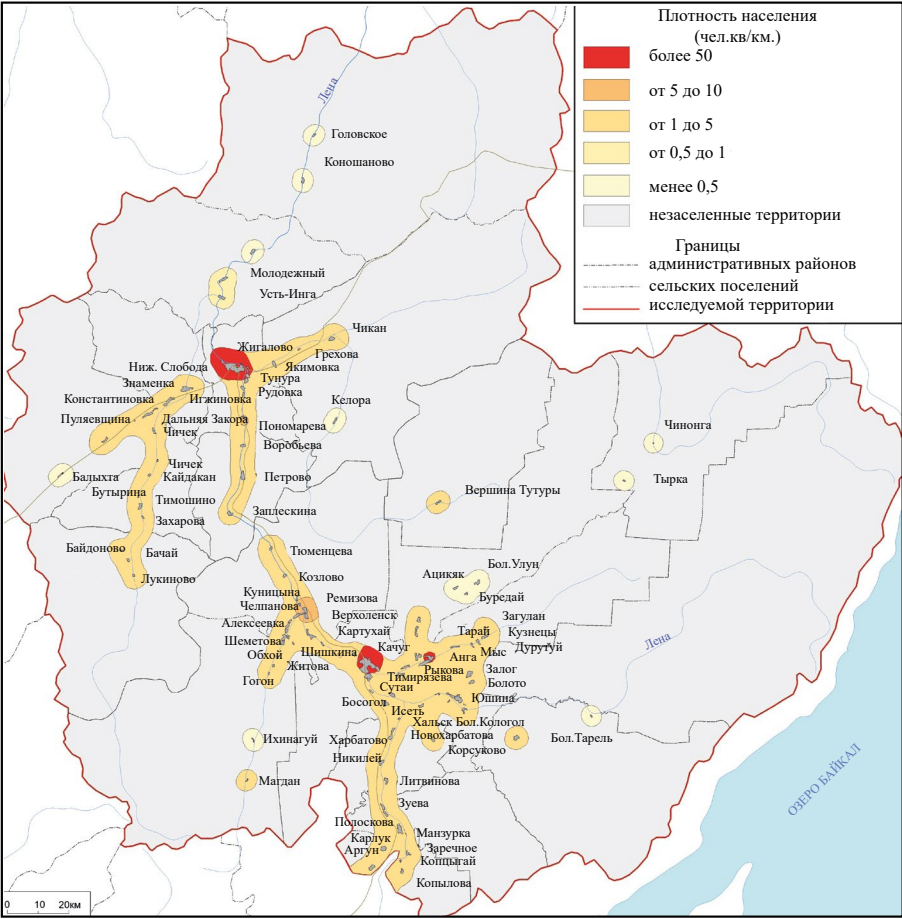


Рис. 3. Плотность населения по ареалам расселения, 2023 г.

Fig. 3. Population density by area of settlement.

Постсоветский период, отмеченный спадом экономики, характеризуется значительным миграционным оттоком населения. За 1990–2022 гг. численность жителей Качугского района уменьшилась на 36.1% (до 15.3 тыс. чел.), Жигаловского района — значительно меньше: на 20.3% (до 8.9 тыс. чел.). В среднем по Иркутской области сокращение населения за тот же период было менее значительным и составило 15.2%. При этом совокупно сельское население районов сократилось на 36.6%, что отразилось на системе сельского расселения территории.

Динамика количества и средней людности сельских населенных пунктов Качугского и Жигаловского районов с 1989 по 2020 гг. по материалам переписей населения дает представление о двух тенденциях, с одной стороны, о сохранении сети расселения, а, с другой стороны, о полуторакратном сокращении средней людности поселений (табл. 3).

Таблица 3. Динамика числа и средней людности сельских населенных пунктов

Table 3. Dynamics of the number and average population of rural settlements

Год переписи населения	Число сельских населенных пунктов по районам		Средняя людность сельских населенных пунктов по районам, чел.	
	Качугский	Жигаловский	Качугский	Жигаловский
1989	78	39	181	139
2002	77	38	166	131
2010	76	36	137	110
2020	76	36	117	96

Источники: Всесоюзная перепись населения 1989 г. [Электронный ресурс] // URL: http://www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus89_reg1.php (дата обращения: 10.07.2023); Всероссийская перепись населения 2002 г. [Электронный ресурс] // URL: <https://38.rosstat.gov.ru/folder/36517> (дата обращения: 10.07.2023); Всероссийская перепись населения 2020 г. [Электронный ресурс] // URL: <https://rosstat.gov.ru/vpn/2020> (дата обращения: 10.07.2023).

Динамика населения в 2011–2023 гг. по населенным пунктам очень неравномерна, если растущих населенных пунктов было 29, то сократившихся вдвое и более — 40, а сокративших население в пределах 50% — 72 (рис. 4).

Средняя людность сельских населенных пунктов на 1989 г. в Качугском районе составила 181 чел., в Жигаловском районе — 139 чел., тогда как средняя людность сельских населенных пунктов по Иркутской области составила в этот период 359 чел. Таким образом, данный показатель ниже среднего по области в 2 и 2.6 раза соответственно. Распределение населенных пунктов по людности в 2023 г. было следующим: свыше 5 тыс. чел. (2 поселка городского типа), от 500 до 5000 чел. — 6, от 100 до 500 — 34, от 50 до 100 — 16, от 10 до 50 — 29, 10 и менее — 18 населенных пунктов.

За последние 30 лет особенно заметно сокращение людности сельских населенных пунктов. По данным переписи 2020 г. средняя людность сельских населенных пунктов Качугского района составила 117 чел., Жигаловского района — 96 чел., в то время как по области данный показатель достиг значения 362 чел. Таким образом, в то время как средняя людность сельских населенных пунктов по Иркутской области возрастает, по районам Верхнеленя она сокращается, помимо сокращения числа населенных пунктов значительно сократилась и численность населения оставшихся.

Представленная динамика демонстрирует синхронность сокращения средней численности сельских населенных пунктов в рассматриваемых районах. Однако, как отмечалось выше, сокращение численности населения районов за последние 30 лет неравномерно, так как население р.п. Качуг убыло на 28%, а р.п. Жигалово — всего на 3%. Несмотря на то что Жигаловский район в большей степени удален от областного центра, развитие добывающей промышленности и обслуживание водного транспорта способствуют концентрации населения в районном центре.

Стоит отметить, что несколько населенных пунктов (например, с. Верхолениск, д. Воробьева, с. Чикан, д. Якимовка) по основной оси расселения, привязанной к автомобильной дороге Иркутск — Качуг — Жигалово — Магистральный, характеризуются стабилизацией или ростом численности населения за период 2011–2023 гг., что может быть связано с транспортной доступностью мест приложения труда.

Также положительной динамикой численности населения отличаются населенные пункты Качугского района, возникшие в местах традиционного проживания

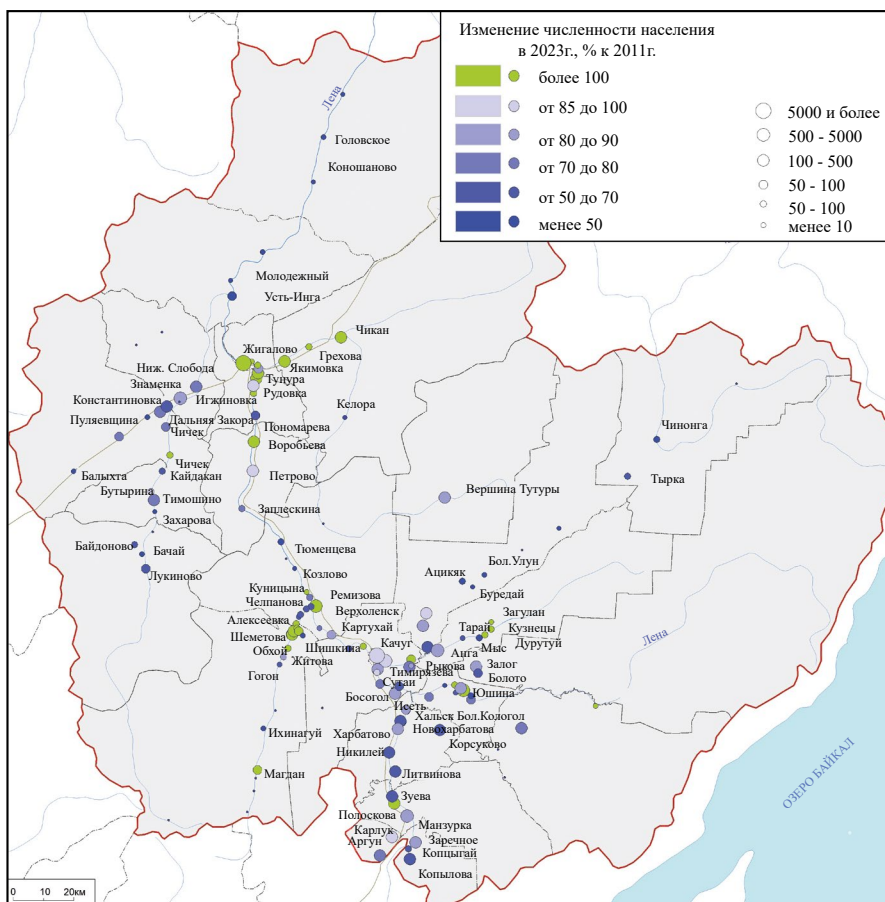


Рис. 4. Людность населенных пунктов и динамика их населения в 2011–2023 гг.

Fig. 4. Population of settlements and dynamics of their population in 2011–2023.

бурятского населения, однако характеризующиеся малой численностью населения: например, д. Магдан (78 чел.), деревни Дурутуй, Загулан, Кузнецы (до 10 чел.).

За период 1989–2020 гг. было упразднено пять населенных пунктов Верхнеленья, оставшихся без населения (4.3% исходного числа). В настоящее время 28 населенных пунктов (25% общей численности) имеют численность населения до 10 человек, в том числе шесть из них не имеют постоянного населения

Ареалы наибольшей концентрации населенных пунктов района сформировались вдоль транспортных коммуникаций и речных долин, наибольшая плотность населения сохранилась в радиусе 60-минутной доступности от районных центров.

ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящее исследование направлено на взаимосвязанное изучение расселения, динамики и миграционной концентрации населения в пределах глубинных сибирских районов. Рассмотрена трансформация расселения Верхнеленских районов (Жигаловского и Качугского) Иркутской области как пример сжатия системы сельского расселения. Негативным последствием динамики населения является снижение доли верхнеленских районов в населении Иркутской области с пяти до одного процента за период 1939–2024 гг.

Для выявления особенностей размещения населения применен дазиметрический способ. Контуры сплошь заселенных местностей вычислялись и прочерчивались радиусом в 3 км от границ населенного пункта. Таким образом, смыкающиеся пятна образуют сплошь заселенные пространства, от которых отходят линейно-полосные элементы расселения по осям рек и дорог. Исследуемая территория Верхнеленья заселена неоднородно, характеризуется редкой сетью поселений преимущественно очагового характера.

При этом сжатие системы расселения приводит к снижению освоенности территории, в данном случае целые группы населенных пунктов оказываются в депрессивном положении, так как расположены вне зоны доступности транспортной, социальной, общественно-деловой и телекоммуникационной инфраструктуры.

Как отмечает Нефедова Т. Г., сжатие освоенного сельского пространства в последние годы было связано в том числе с глубиной и удаленностью от больших городов многих сельских территорий, повышением экономической роли пригородов больших городов, территориальными контрастами в качестве социальной среды и усилением ее влияния на развитие территорий [24].

Современные рыночные условия через усиление экономических и экономико-географических контрастов, выраженных через главные элементы каркаса расселения в виде центров и местных магистралей, воздействуют на демографические и производственные процессы, а далее на расселение.

ВЫВОДЫ

Выявлены особенности, тенденции и детализация динамики населения с учетом реального размещения населения. В настоящее время ареалы расселения сформировались вдоль транспортных коммуникаций и речных долин, наибольшая плотность населения сохранилась в радиусе 60-минутной доступности от районных центров.

За последние 30 лет особенно заметно сокращение людности сельских населенных пунктов. По данным переписи 2020 г. средняя людность сельских населенных пунктов Качугского района составила 117 чел., Жигаловского района — 96 чел.,

в то время как по области данный показатель достиг значения 362 чел. Таким образом, в то время как средняя людность сельских населенных пунктов по Иркутской области возрастает, по районам Верхнеленя она сокращается, помимо сокращения числа населенных пунктов значительно сократилась и численность населения оставшихся.

На примере Верхнеленя можно говорить о сжатии местных систем расселения в глубинных сибирских районах. Причинами данных процессов являются, прежде всего, экономические. Также сказывается удаленность таких районов от центров обслуживания — не только от областного центра, но и от других городов. Снижение количества мест приложения труда в совокупности с суровыми климатическими условиями, транспортной удаленностью от основных центров и общей динамикой населения в регионе обусловили то, что численность населения районов Верхнеленя существенно сокращается.

Стоит отметить, что наблюдаемые локальные отклонения от динамики сжатия, связанные с экономическими и этническими факторами, в целом не влияют на общую тенденцию концентрации населения в городских населенных пунктах и стремительного сокращения людности сельских населенных пунктов глубинных территорий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы: АААА-А21-121012190019-9 и АААА-А21-121012190063-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А. И., Сафронов С. Г.* Изменение сельского расселения в России в конце XX — начале XXI века. Вестник Московского ун-та. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 66—76.
2. *Алексеев А. И., Сафронов С. Г., Савоскул М. С., Кузнецова Г. Ю.* Основные тенденции эволюции сельского расселения России в XX—начале XXI вв. // ЭКО. 2019. № 4. С. 26—49. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2019-4-26-49>
3. Атлас Иркутской области. М.; Иркутск: ГУГК, 1962. 182 с.
4. *Афанасьева Т. А.* Методика устойчивого развития сельских территорий региона // Московский экономический журнал. 2022. № 3. URL: <https://qje.su/selskohozyajstvennye-nauki/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-3-2022-22/> https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_3_154
5. *Ашуркова Ю. А.* Экономико-географическая характеристика транспортно-расселенческой освоенности территории Иркутской области: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2003. 24 с.
6. *Беркин Н. С., Филиппова С. А., Бояркин В. М., Наумова А. М., Руденко Г. В.* Иркутская область (природные условия административных районов). Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1993. 304 с.
7. *Валеева О. В., Хавина Л. А., Туркина Н. Г., Дец И. А., Черенев А. А., Емельянова Н. В., Веселова В. Н., Заборцева Т. И., Шелехова Т. Н., Руднева В. А., Дугарова Г. Б., Ипполитова Н. А., Дмитриева Ю. Н., Рыков П. В., Воробьев Н. В.* Административные районы // Географическая энциклопедия Иркутской области. Общий очерк. Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Иркутск, 2017. С. 218—256.

8. *Ветров В. Г., Новиченок А. С., Нагулина В. Н.* Население Юга Восточной Сибири. [Карта. 1:1500 000] /под ред. В. В. Воробьева, Б. А. Богоявленского, А. С. Новиченка. М.: ГУГК, 1979. 4 л. (Карта-врезка: Плотность населения Юга Восточной Сибири.— 1:1000 000).
9. *Воробьев А. Н.* Картографирование плотности населения редкозаселенного региона (на примере Иркутской области) // Геодезия и картография. Т. 80. № 4. 2019. С. 32–38. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2019-946-4-32-38>
10. *Воробьев В. В.* Население Восточной Сибири: (Современная динамика и вопросы прогнозирования). Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.
11. *Воробьев Н. В.* Миграционные тенденции и проблемы регионов Сибири // География и природные ресурсы. 2020. № 5. С. 178–184. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-5\(178-184\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-5(178-184))
12. *Воробьев Н. В., Воробьев А. Н.* Составление карты субрегиональных типов динамики населения Иркутской области // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 4. С. 361–372. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-361-372>
13. География Сибири в начале XXI в.: в 6 т. Т. 3: Хозяйство и население / отв. ред. Н. М. Сысоева, С. В. Рященко. Новосибирск: Гео, 2014. 251 с.
14. География населения и социальная география // Вопросы географии. сб. 135. М., 2013. 552 с.
15. *Долгих Б. О.* Родовой и племенной состав народов Сибири в XVII в. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 620 с.
16. *Житин Д. В., Курочкин Ю. Н., Чистяков К. В., Шендрик А. В.* Влияние природно-географических и историко-демографических факторов на динамику численности сельского населения Красноярского края // Известия Русского Географического Общества. 2021. Т. 153. № 4. С. 3–31. <https://doi.org/10.31857/S0869607121040042>
17. Итоги российского судостроения за 2023 год [Электронный ресурс] // URL: <https://paluba.media/news/66855> (дата обращения: 24.06.2024)
18. *Катанандов С. Л., Межевич Н. М., Солодилов В. В.* “Сельские агломерации” и “сельские ассоциации населенных пунктов” — возможные направления развития местного самоуправления на Северо-Западе России // Управленческое консультирование. 2021. № 9. С. 9–17.
19. *Ковалев С. А.* Сельское расселение (географическое исследование). М.: Изд-во Московского ун-та, 1963. 371 с.
20. Куленга // Сибирская советская энциклопедия. Новосибирск: Западно-Сибирское отделение ОГИЗ, 1931. Т. 2 (3 — К). С. 1109.
21. *Маргеева Д. В.* Трансформация системы сельского расселения на примере Качутского района Иркутской области // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2023. Т. 9 (19). Вып. 3. С. 190–200.
22. *Мисевич К. Н., Елин С. П., Титов А. Н.* Формирование и развитие систем расселения в Иркутской области. Иркутск: ИГ СО РАН. 1988. 163 с. (Депонировано в ВИНТИ № 1705-B88).
23. *Нанзатов Б. З.* Иркутские буряты в XIX веке: этнический состав и расселение: монография. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. — 224 с.
24. *Нефедова Т. Г.* Сжатие внегородского освоенного пространства России — реальность, а не иллюзия // Сжатие социально-экономического пространства: новое в теории регионального развития и практике его государственного регулирования / Под ред. С. С. Артоболевского и Л. М. Синцерова. М.: Эслан, 2010. С. 128–144

25. Проблемы и перспективы социально-экономического развития сельских территорий: региональный аспект. М.: Издание Государственной Думы, 2021. 320 с.

26. Румянцев И. Н., Смирнова А. А., Ткаченко А. А. Сельские населенные пункты “без населения” как географический и статистический феномен // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. География. 2019. № 1. С. 29–37.

27. Ткаченко А. А. О реальном и номинальном количестве сельских населенных пунктов в современной России и ее регионах // Известия Русского Географического Общества. 2018. Т. 150. № 2. С. 15–24.

Modern Transformation of Rural Settlement (by the Example of VerkhneIenye, Irkutsk Region)

N. V. Vorobyev^{a, *}, A. N. Vorobyev^{a, **}, D. V. Margeeva^{a, b, *}**

^a*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia*

^b*LLC Educational Center “Tochka”, Irkutsk, Russia*

**E-mail: nikvly54@gmail.com;*

***E-mail: tore12@yandex.ru;*

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

Abstract — This study is aimed at an interconnected study of the settlement, dynamics and migration concentration of the population within the deep Siberian regions. The transformation of the settlement of the VerkhneIensky districts (Zhigalovsky and Kachugsky) of the Irkutsk region is considered as an example of compression of the rural settlement system. Retrospective, statistical, cartographic and comparative geographical methods were used; Settlements and rural municipalities are taken as the units of statistical observation. To identify the characteristics of population distribution, a dasymetric method was used. The contours of completely populated areas were calculated and drawn with a radius of 3 km from the boundaries of the populated area. Converging spots form completely populated spaces, from which linear-band settlement elements extend along the paths of old communications (rivers and roads). The study area of VerkhneIenye is mostly heterogeneously populated, with a sparse network of settlements, predominantly of a focal nature. Features, trends and details of population dynamics are identified, taking into account the actual distribution of the population. Negative consequences of population dynamics is the decrease in the share of Upper Lena districts in the population of the Irkutsk region from five to one percent over the period 1939–2024. Currently, settlement areas have formed along transport communications and river valleys; the highest population density remains within a 60-minute radius of accessibility from regional centers. Modern market conditions, through the strengthening of economic and economic-geographical contrasts, expressed through the main elements of the settlement framework in the form of centers and local highways, affect demographic and production processes, and then resettlement.

Keywords: settlement, compression of settlement, inland areas, rural areas, sparsely populated region, population density, population dynamics, VerkhneIenye

REFERENCES

1. Alekseev A. I., Safronov S. G. *Izmenenie sel'skogo rasseleniya v Rossii v konce XX — nachale XXI veka. Vestnik Moskovskogo un-ta. Seriya 5. Geografiya.* 2015. № 2. S. 66–76.

2. Alekseev A. I., Safronov S. G., Savoskul M. S., Kuznecova G. Yu. Osnovnye tendencii evolyucii sel'skogo rasseleniya Rossii v XX–nachale XXI vv. // EKO. 2019. № 4. S. 26–49. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2019-4-26-49>
3. Atlas Irkutskoj oblasti. M.; Irkutsk: GUGK, 1962. 182 s.
4. Afanas'eva T. A. Metodika ustojchivogo razvitiya sel'skih territorij regiona // Moskovskij ekonomicheskij zhurnal. 2022. № 3. URL: <https://qje.su/selskohozyajstvennye-nauki/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-3-2022-22/> https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_3_154
5. Ashurkova Yu. A. Ekonomiko-geograficheskaya harakteristika transportno-rasselencheskoj osvoennosti territorii Irkutskoj oblasti: avtoref. diss. ... kand. geogr. nauk. Irkutsk, 2003. 24 s.
6. Berkin N. S., Filippova S. A., Boyarkin V. M., Naumova A. M., Rudenko G. V. Ir-kutskaya oblast' (prirodnye usloviya administrativnyh rajonov). Irkutsk: Izd-vo Irkutskogo un-ta, 1993. 304 s.
7. Valeeva O. V., Havina L. A., Turkina N. G., Dec I. A., Cherenov A. A., Emel'yanova N. V., Veselova V. N., Zaborceva T. I., Shelekhova T. N., Rudneva V. A., Dugarova G. B., Ippolitova N. A., Dmitrieva Yu. N., Rykov P. V., Vorob'ev N. V. Admini-strativnye rajony // Geograficheskaya enciklopediya Irkutskoj oblasti. Ob-shchij ocherk. Institut geografii im. V. B. Sochavy SO RAN. Irkutsk, 2017. S. 218–256.
8. Vetrov V. G., Novichyonok A. S., Nagulina V. N. Naselenie Yuga Vostochnoj Sibi-ri. [Karta. 1:1500 000] /pod red. V. V. Vorob'eva, B. A. Bogoyavlenskogo. M.: GUGK, 1979. 4 l. (Karta-vrezka: Plotnost' naseleniya Yuga Vostochnoj Sibiri. — 1:1000 000).
9. Vorob'ev A. N. Kartografirovanie plotnosti naseleniya redkozaselyonnogo regio-na (na primere Irkutskoj oblasti) // Geodeziya i kartografiya. T. 80. № : 4. 2019. S. 32–38. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2019-946-4-32-38>
10. Vorob'ev V. V. Naselenie Vostochnoj Sibiri: (Sovremennaya dinamika i vopro-sy prognozi-rovaniya). Novosibirsk: Nauka, 1977. 160 s.
11. Vorob'ev N. V. Migracionnye tendencii i problemy regionov Sibiri // Geo-grafiya i prirodnye resursy. 2020. № 5. S. 178–184. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-5\(178-184\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-5(178-184))
12. Vorob'ev N. V., Vorob'ev A. N. Sostavlenie karty subregional'nyh tipov dina-miki naseleniya Irkutskoj oblasti // InterKarto. InterGIS. Geoinformaci-onnoe obespechenie ustojchivogo razvitiya territorij: Materialy Mezhdunar. konf. M.: Geograficheskij fakul'tet MGU, 2021. T. 27. Ch. 4. S. 361–372. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2021-4-27-361-372>
13. Geografiya Sibiri v nachale XXI v.: v 6 t. T. 3: Hozyajstvo i naselenie / otv. red. N. M. Sysoeva, S. V. Ryashchenko. Novosibirsk: Geo, 2014. 251 s.
14. Geografiya naseleniya i social'naya geografiya // Voprosy geografii. sb. 135. M., 2013. 552 s.
15. Dolgih B. O. Rodovoj i plemennoj sostav narodov Sibiri v XVII v. M.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1960. 620 s.
16. Zhitin D. V., Kurochkin Yu. N., Chistyakov K. V., Shendrik A. V. Vliyanie prirodno-geogra-ficheskikh i istoriko- demograficheskikh faktorov na dinamiku chislenno-sti sel'skogo naseleniya Krasno-yarskogo kraja // Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva. 2021. T. 153. № 4. S. 3–31. <https://doi.org/10.31857/S0869607121040042>
17. Itogi rossijskogo sudostroeniya za 2023 god [Elektronnyj resurs] // URL: <https://paluba.media/news/66855> (data obrashcheniya: 24.06.2024)
18. Katanandov S. L., Mezhevich N. M., Solodilov V. V. “Sel'skie aglomeracii” i “sel'skie associa-cii naselennyh punktov” — vozmozhnye napravleniya razvitiya mestnogo samoupravlenie na Severo-Zapade Rossii // Upravlencheskoe konsul'-tirovanie. 2021. № 9. S. 9–17.
19. Kovalev S. A. Sel'skoe rasselenie (geograficheskoe issledovanie). M.: Izd-vo Moskovskogo un-ta, 1963. 371 s.

20. Kulenga // *Sibirskaya sovetskaya enciklopediya*. Novosibirsk: Zapadno-Sibirskoe otделение OGIZ, 1931. T. 2 (Z — K). S. 1109.
21. Margeeva D. V. Transformaciya sistemy sel'skogo rasseleniya na primere Ka-chugskogo rajona Irkutskoj oblasti // *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2023. T. 9(19). Vyp. 3. S. 190—200.
22. Misevich K. N., Elin S. P., Titov A. N. Formirovanie i razvitie sistem rasse-leniya v Irkutskoj oblasti. Irkutsk: IG SO RAN. 1988. 163 s. Deponirovano v VINITI № 1705-V88.
23. Nanzatov B. Z. Irkutskie buryaty v XIX veke: etnicheskij sostav i rasselenie: mo-nografiya. — Ulan-Ude: Izd-vo BNC SO RAN, 2018. — 224 s
24. Nefedova T. G. Szhatie vnegorodskogo osvoennogo prostranstva Rossii — real'-nost', a ne illyuziya // Szhatie social'no-ekonomicheskogo prostranstva: novoe v teorii regional'nogo razvitiya i praktike ego gosudarstvennogo regulirovaniya / Pod red. S. S. Artobolevsogo i L. M. Sinceroва. M.: Eslan, 2010. S. 128—144
25. Problemy i perspektivy social'no-ekonomicheskogo razvitiya sel'skih terri-torij: regional'nyj aspekt. M.: Izdanie Gosudarstvennoj Dumy, 2021. 320 s.
26. Rumyanцев I. N., Smirnova A. A., Tkachenko A. A. Sel'skie naselennye punkty “bez naseleniya” kak geograficheskij i statisticheskij fenomen // *Vestnik Mos-kovskogo un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2019. № 1. S. 29—37.
27. Tkachenko A. A. O real'nom i nominal'nom kolichestve sel'skih naselennyh punktov v sovremennoj Rossii i ee regionah // *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva*. 2018. T. 150. № 2. S. 15—24.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Воробьев Николай Владимирович

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Россия, Иркутск.

Vorobyev Nikolay Vladimirovich

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Russia, Irkutsk.

Воробьев Александр Николаевич

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Россия, Иркутск.

Vorobyev Alexander Nikolaevich

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Russia, Irkutsk.

Маргеева Дарья Владимировна

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, ООО Образовательный центр “Точка”, Россия, Иркутск.

Margeeva Daria Vladimirovna

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, LLC Educational Center “Tochka”, Russia, Irkutsk.

УДК 631.48

НАТИВНЫЕ ЭТАЛОННО ЗНАЧИМЫЕ ЧЕРНОЗЕМЫ В СТАРООСВОЕННОЙ ЛЕСОСТЕПИ: ПОИСК СОХРАНИВШИХСЯ АРЕАЛОВ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ

© 2024 г. Ю. Г. Чендев^{а,*}, М. А. Смирнова^{б,**},

А. Н. Геннадиев^{б,***}, В. Г. Белеванцев^{а,****}

^аБелгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Россия

^бМосковский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: sciences@mail.ru

**E-mail: summerija@yandex.ru

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

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

Поступила в редакцию: 24.07.2024 г.

После доработки: 01.12.2024 г.

Принята к публикации: 03.12.2024 г.

Приводятся первые результаты поиска, идентификации и анализа небольших сохранившихся участков нераспаханных черноземных почв, приуроченных к водораздельным пространствам Среднерусской возвышенности и находящихся за пределами заповедных территорий. Для идентификации участков луговых степей, все время являвшихся сенокосами и/или выгонами, т.е. никогда не пахавшимися территориями в староосвоенной лесостепи, использован историко-картографический анализ старинных карт конца XVIII, середины и конца XIX, середины XX вв. и современных спутниковых снимков, дополнительный рекогносцировочными выездами. Всего на территории Белгородской области выделено 45 таких участков, размерами от первых десятков до первых десятков тысяч квадратных метров и, общей площадью около 120 га. Показано, что сенокосы и выгоны, сохранившиеся в ряде сел на юге Среднерусской возвышенности, представляют собой научный интерес для изучения эталонных свойств и функций нативных черноземов Центральной лесостепи. Главным индикатором отсутствия распашки на изучаемых участках служит водопрочная зернистая структура верхних слоев черноземов. Запасы органического углерода в метровой толще изученных почв варьируют от 227 до 319 т/га — что находится в соответствии с известными сведениями о запасах углерода в целинных заповедных черноземах лесостепи. Показано, что разнообразие плакорных вариантов нативных лугово-степных черноземов обусловлено различиями в почвообразующих породах: лессовидных карбонатных средних и тяжелых суглинков, маломощных лессовидных суглинков, красноцветных опесчаненных пород неогена и красно-бурых глин. Обнаружены различия в степени уплотнения верхней части почвенных профилей, обусловленные разной нагрузкой, возникающей в результате выпаса скота, и различным соотношением между сенокосением и выпасом в зависимости от местных условий и участков.

Ключевые слова: нативные черноземы, охрана почв, мониторинг почв, почвы Белгородской области, запасы углерода

DOI: 10.31857/S0869607124040107, **EDN:** MNWGCL

ВВЕДЕНИЕ

В условиях практически тотальной антропогенной трансформации почвенного покрова на территории восточно-европейской лесостепи существует острый дефицит эталонно значимых черноземов, которые могли бы служить основой для сравнения с антропогенно трансформированными почвами окружающих территорий, а также выступать объектом исследования естественной географии почв [15, 24, 25]. В этой связи поиск, изучение и использование эталонных качеств нативных почв и сохранившихся естественных фрагментов почвенного покрова в этом регионе представляются весьма актуальными. Ранние исследования естественных черноземов лугово-степных ландшафтов лесостепи касались, главным образом, почв заповедных участков, занимающих небольшие площади на территории Центрально-Черноземного заповедника им. В. В. Алехина и заповедника “Белогорье” [1, 3, 9, 14]. Малая площадь сохранившихся фрагментов почвенного покрова с целинными черноземами (не более 60 кв. км на всей территории лесостепи Среднерусской возвышенности, из которых 53 кв. км приходится на Центрально-Черноземный заповедник им. В. В. Алехина) сужает разнообразие природных факторов почвообразования и ограничивает возможности сравнения с черноземами более отдаленных территорий [15]. В связи с этим высказываются пожелания о создании дополнительных резерватов с нативными черноземами в виде особо охраняемых природных территорий [4, 19]. Как справедливо отмечает О. В. Чернова, “в районах высокой сельскохозяйственной измененности сложно найти значительные по площади территории с естественными биоценозами и почвами. В таких условиях необходима инвентаризация всех, даже небольших по площади участков ненарушенных почв под естественной или восстановленной растительностью” [4, с. 35]. Использование массовых данных о некоторых свойствах целинных черноземов имеется в работе Д. И. Щеглова [20]. При рассмотрении лесостепных черноземов на территории Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой, Орловской и Тамбовской областей автор приводит усредненные характеристики по 21 разрезу черноземов выщелоченных и 33 разрезам черноземов типичных, изученных на целинных участках, но в работе нет ссылок на места проведенных исследований [20]. Поэтому непонятно, были использованы данные по разным участкам (включая новые, ранее не изученные) или на небольшом числе известных целинных участков закладывались серии почвенных разрезов, вошедших в указанную выборку.

В данной статье приводятся первые результаты поиска, идентификации и анализа небольших сохранившихся участков нераспаханных черноземных почв с набором естественных свойств на территории юга Среднерусской возвышенности, которые расположены на ровных водораздельных поверхностях, т.е. отражают зональный характер лугово-степного почвообразования в лесостепной зоне. Выявленные участки с эталонно значимыми черноземами могут быть репрезентативными для сравнения с пахотными почвами, приуроченными к максимально сходным топологическим и биоклиматическим условиям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Историко-картографический анализ старинных карт для реконструкции изменений во времени растительности, гидрографической сети, угодий, выявления почвенных агрохронорядов с целью изучения агротехногенной эволюции почв используется длительное время и хорошо зарекомендовал себя как достоверный

метод исследования пространственно-временных изменений компонентного состава геосистем [2, 8, 16, 18, 21]. В настоящей работе основным методическим приемом также было использование разновременных достоверных крупномасштабных (М 1:8400, 1:10000) карт конца XVIII, середины и конца XIX, середины XX вв. и современных спутниковых снимков для идентификации участков луговых степей, все время являвшихся сенокосами и/или выгонами, т.е. никогда не пахавшимися территориями в староосвоенной лесостепи. Местом хранения крупномасштабных картографических материалов XVIII и XIX вв. является Российский государственный архив древних актов (РГАДА) (г. Москва). Местом хранения крупномасштабных (М 1:10000) карт середины XX в. служит архив Управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Белгородской области (г. Белгород). Современные спутниковые снимки находятся в свободном доступе в сети Интернет (например, ресурс ArcGISWorldImagery (<https://www.arcgis.com/home/webscene/viewer.html>)). Подобранный набор карт с фрагментами спутниковых снимков на все, подходящие для дальнейших исследований, участки были отсканированы, оцифрованы, прошли процедуру координатной привязки и представлены в едином масштабе 1:10000. Для этого использовалось программное обеспечение и соответствующий набор инструментов в среде ArcGIS.

Работа с крупномасштабными картами середины XX в. (с горизонталями рельефа) выявила ряд перспективных участков для поиска старых выгонов в селах Белгородской области: Коровино, Рождественка, Толстое, Скородное и ряде других (всего более 40 участков (рис. 1)), большинство из которых затем изучалось с помощью старинных карт. Идентификация современных угодий на данных участках выполнялась с помощью спутниковых снимков.

Предпочтение отдавалось участкам, расположенным на ровных водоразделах с крутизной поверхности от 0 до 2 градусов (плакоры). В дальнейшем осуществлялась работа в РГАДА по изучению крупномасштабных старинных карт на территорию ряда сел с перспективными участками сенокосов и выгонов. Одним из важных результатов явилось обоснование возможности использования в работе так называемых “трехверсток” — военно-топографических карт масштаба 1:126000, — которые более доступны по сравнению с материалами РГАДА (например, их можно найти в Интернет-ресурсах). Сравнение указанных карт показало, что на “трехверстках” пространство под сенокосами—выгонами внутри сел можно четко идентифицировать, что расширяет возможности поиска новых участков, не обеспеченных картами масштаба 1:8400 (в РГАДА имеется лишь незначительная часть сел, на которые есть такие карты — планы дач генерального и специального межеваний). В качестве примера на рис. 2 приводятся два парных фрагмента карт масштабов 1:8400 и 1:126000 с идентификацией на них сенокосов—выгонов (карты масштаба 1:8400 уменьшены).

Одним из примеров ключевого участка, на котором сенокосы—выгоны сохранились на достаточно большой площади (около 5 га) является участок на южной окраине села Коровино в Ракитянском районе Белгородской области. Работа по идентификации ареала изучаемого угодья на данной территории проводилась на основании использования карт и материалов дистанционного зондирования Земли всех доступных исторических периодов — с конца XVIII по начало XXI вв. (рис. 3).

Важным методическим приемом поиска эталонно значимых черноземов явилось изучение морфологического строения верхней части их профилей в прикопках

на этапе рекогносцировочных выездов на ключевые участки исследования. Выбирались места без заметных антропогенных нарушений поверхности почвы — за пределами зон проездов транспорта и когда-либо существовавших грунтовых дорог (что определялось натурными наблюдениями и анализом разновременных карт). Главным индикатором отсутствия распашки в прошлом являлась хорошо выраженная (зернистая или комковато-зернистая) структура черноземов в верхнем 20-см слое почв, а также отсутствие следов старопашотного горизонта, который долгое время (на протяжении многих десятилетий, а по мнению некоторых исследователей, даже столетий) может сохраняться в почвенных профилях [11, 12]. Как правило, еще до заложения прикопок идентифицировать структуру верхних почвенных слоев помогал анализ свежих выбросов почвенного материала слепышами, на поверх-

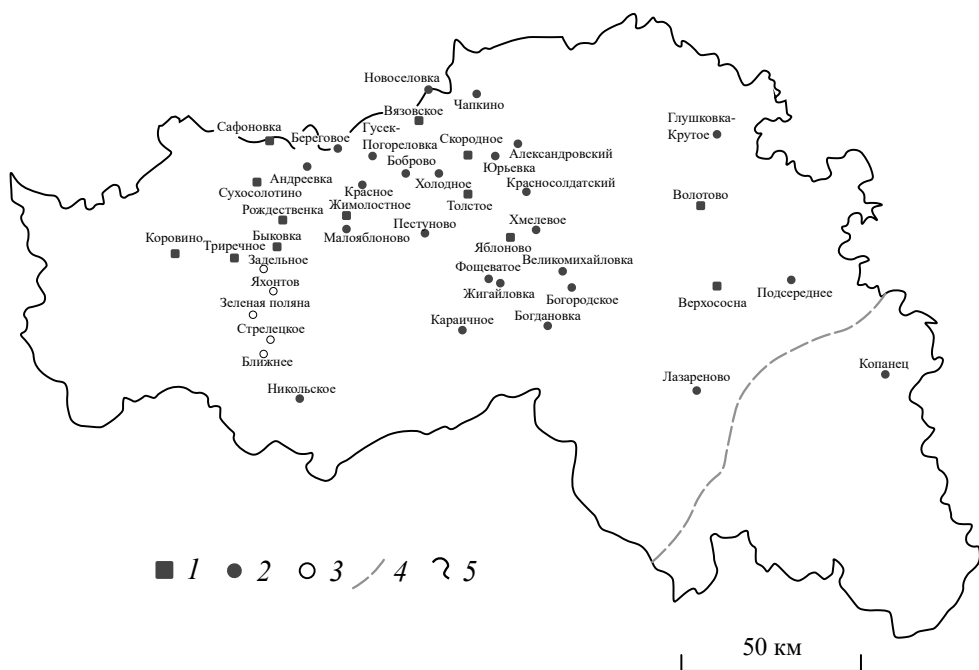


Рис. 1. Местоположение участков сенокосов и выгонов в окрестностях населенных пунктов на юге Среднерусской возвышенности (в административных границах Белгородской области), ранее не подвергавшихся распашке (с нативными черноземами лесостепи). Условные знаки: 1 — участки, выявленные с использованием планов дач генерального и/или специального межевания земель Российской империи; 2 — участки, выявленные с помощью листов военно-топографической карты 1860–1870-х гг.; 3 — участки, условно перспективные с учетом наличия на них покрова дикорастущих трав, идентифицированного на топографических картах М 1:10 000 и детальных спутниковых снимках в интервале времени с 1950-х по 2020-е гг.; 4 — граница лесостепи и степи; 5 — административная граница Белгородской области.

Fig. 1. Location of hayfields and pastures in the vicinity of settlements in the southern part of the Central Russian Upland (within the administrative borders of the Belgorod region), previously not subjected to arable cultivation (with native Chernozems of the forest-steppe). Legend: 1 — areas identified using plans of land sites of the Russian Empire; 2 — areas identified using military topographic maps from the 1860s-1870s; 3 — areas with potential interest based on the presence of wild grass cover, identified in topographic maps at 1:10 000 scale and detailed satellite images from the 1950s to the 2020s; 4 — boundary between forest-steppe and steppe zones; 5 — administrative border of the Belgorod oblast.

ности холмиков которых зернистая структура естественных черноземов выглядела достаточно отчетливо (рис. 4).

На ключевых участках исследования почвенные профили изучались в глубоких разрезах с помощью метода генетического анализа почвенного профиля. Описание строения профилей в разрезах дополнялось изучением почвенных проб, извлеченных из буровых скважин, которые закладывались рядом с основными разрезами.

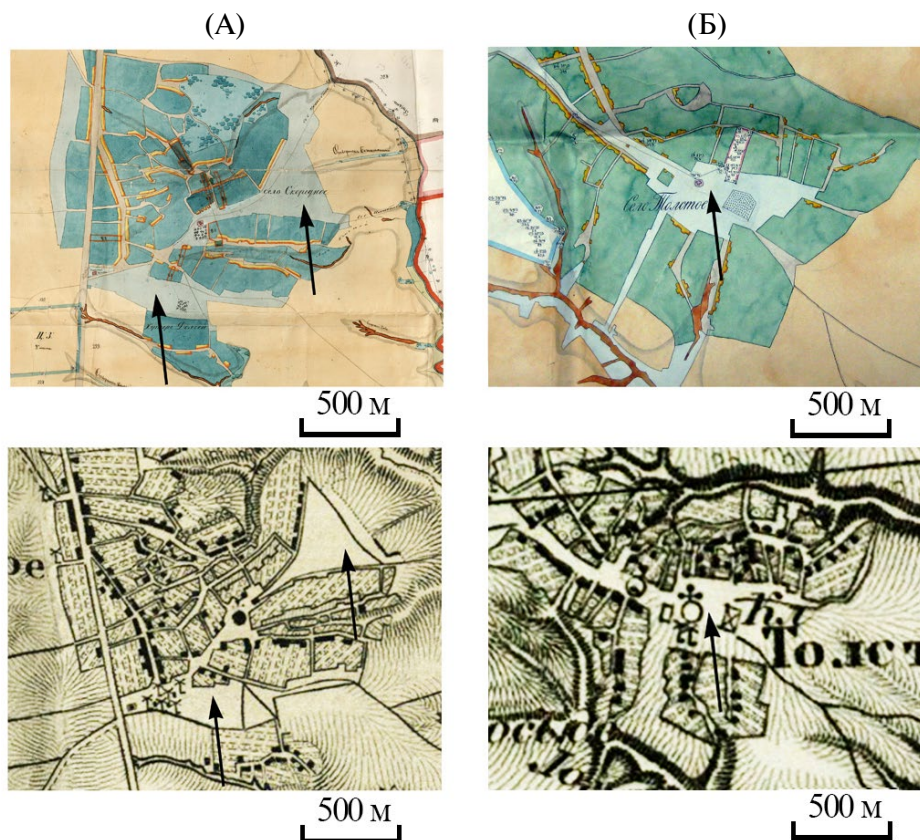


Рис. 2. Сенокосы и выгоны (показаны стрелками) в селах Скородное¹ (А) и Толстое² (Б) Губкинского городского округа Белгородской области на старинных картах разного масштаба как альтернативные варианты поиска участков с нативными черноземами.

Fig. 2. Hayfields and pastures (indicated by arrows) in the villages of Skorodnoye¹ (A) and Tolstoye² (B) of the Gubkinsky urban district of the Belgorod oblast on historical maps of different scales as alternative options for finding areas with native Chernozems.

¹ Вверху — Геометрический специальный план... села Скородное...1881 года... // РГАДА. Фонд. 1354. Опись 221. Ч. II. С 43-к.; внизу — военно-топографическая карта Курской губернии. В дюйме 3 версты. Лист 15. Ряд XX. — СПб., 1864.

² Вверху — Геометрический специальный план... Толстого и Корочки сел... 1914 года... // РГАДА. Фонд. 1354. Опись 221. Ч. II. Т 37-к.; внизу — военно-топографическая карта Курской губернии. В дюйме 3 версты. Лист 15. Ряд XXI. — СПб., 1864.

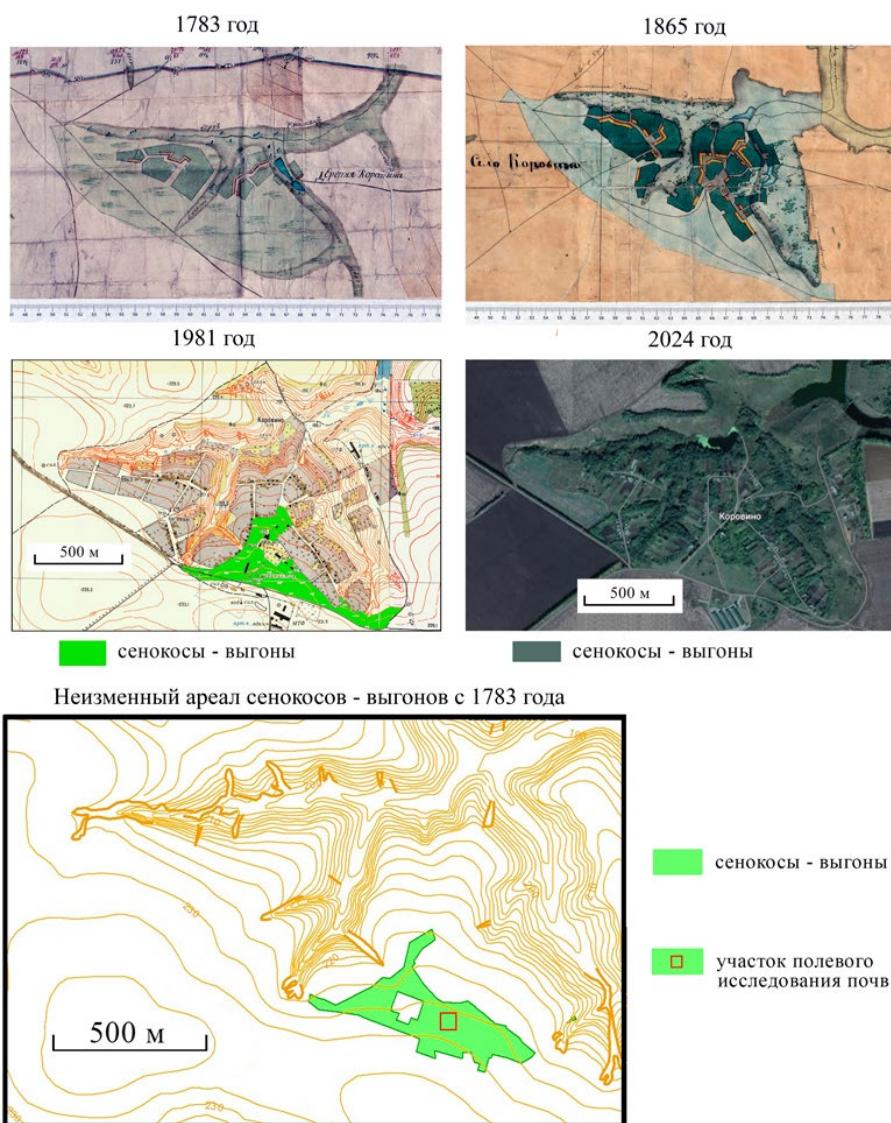


Рис. 3. Данные съемок села Коровино на архивных картах 1783 г.¹, 1865 г.², топографической карте 1981 г. и космическом снимке с указанием границ ареала сенокоса-выгона, существующего в неизменном виде на южной окраине села с 1783 г.

Fig. 3. The Village Korovino on archival maps from 1783¹, 1865², topographic map from 1981, and satellite image indicating the boundaries of the hayfield-pasture area, existing in its original form on the southern outskirts of the village since 1783.

¹ Геометрический специальный план... Коровиной деревни...1783 года... // РГАДА. Фонд. 1354. Опись 211. Ч. I. К 25-к.

² Геометрический специальный план.... Коровина села...1865 года... // РГАДА. Фонд. 1354. Опись 211. Ч. II. К 48-к.

В изученных почвах определялась плотность сложения с помощью стальных колец известного объема в 3-кратной повторности, проводились лабораторные анализы гранулометрического состава, структурно-агрегатного состава, содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$) и CO_2 карбонатов. Гранулометрический состав почв определялся методом пипетки Качинского, коэффициенты структурности и водопрочности почвенных агрегатов определялись по методу Саввинова, углерод карбонатов определялся ацидиметрическим способом, содержание органического углерода выполнялось мокрым сжиганием по методу Тюрина.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследования на первых изученных ключевых участках было выявлено, что в геоботаническом отношении все исследованные выгоны и сенокосы относятся к лугово-степным растительным ассоциациям с преобладанием в фитомассе злаков над разнотравьем. В составе злаков выявлены пырей ползучий (*Elytrigia repens*), костер безостый (*Brömus inermis*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*) и красная (*Festuca rubra*), ежа сборная (*Dáctylis glomeráta*), тимopheевка луговая (*Phleum pratense*), типчак (*Festúca valesiáca*), плевел аноголетний (*Lolium perenne*), мятлик луговой (*Poa praténsis*), ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana*), ковыль волосатик (*Stípa capilláta*). В составе разнотравья были встречены подмаренник настоящий (*Galium verum*), шалфей поникающий (*Sálvia nūtans*), молочай кипарисовый (*Euphórbia cyparíssias*), цикорий обыкновенный (*Cichórium íntybus*), эспарцет песчаный (*Onobrýchis arenária*), тысячелистник обыкновенный (*Achilléa millefólium*), репешок обыкновенный (*Agrimónia eupatória*), герань луговая (*Geránium praténse*), зверо-

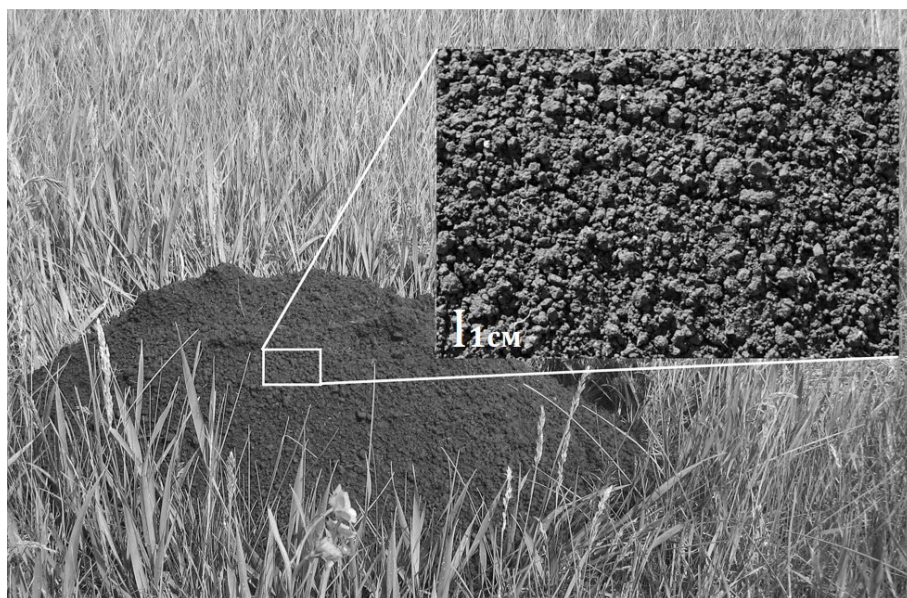


Рис. 4. Зернистая структура чернозема в выбросе слепыша на выгоне в селе Сухосолотино Ивнянского района Белгородской области.

Fig. 4. Granular structure of Chernozem in the mound of a molehill on the pasture in the village of Sukhosolotino, Ivnyansky district, Belgorod oblast.

бой продырявленный (*Hypericum perforatum*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*) и австрийская (*Artemisia austriaca*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), земляника зеленая (*Fragaria viridis*), подорожник ланцетолистный (*Plantago lanceolata*), лютик едкий (*Ranunculus ácris*) и некоторые другие травы.

В ходе геоботанического описания было отмечено, что косимые участки характеризуются более разнообразной растительностью и имеют более высокие запасы фитомассы по сравнению с некосимыми участками, на которых отмечалась большая мощность степного войлока (до 20 см) на поверхности почв, который препятствует быстрой всхожести трав (рис. 5); аналогичные результаты получены для участков косимой и некосимой степи Центрально-черноземного заповедника [20].

По общепринятым представлениям, зональные черноземы лесостепи центра Восточно-Европейской равнины формируются на покровных лессовидных суглинках. В свете новых данных это представление нуждается в уточнении. При изучении истории формирования почвообразующих пород в пределах исследуемой территории отмечалось, что мощность покровных суглинков (современных почвообразующих пород), сформированных в максимальную стадию валдайского оледенения на территории Среднерусской возвышенности и прилегающих к ней участков варьировала в широких пределах — от 0.5 до 5 м в зависимости от локальных условий осадконакопления, которые, определялись особенностями мезоциркуляции атмосферы в этапы лессонакопления [12]. В работе А. В. Русакова, посвященной результатам почвенного картирования территории Ямского участка заповедника “Белогорье”, содержатся сведения о разнообразии почвообразующих пород на относительно небольшой по площади (около 500 га) территории междуречного лугово-степного ландшафта Центральной лесостепи [14]. Поэтому можно предполагать достаточно большое разнообразие почвообразующих пород, являющихся ареной современного почвообразования на лугово-степных участках Среднерусской возвышенности. Это в полной степени подтверждается результатами наших полевых исследований на сенокосах и выгонах юга Среднерусской возвышенности (рис. 6). В частности, установлено наличие черноземов, сформированных на лессовидных средних и тяжелых карбонатных суглинках, на маломощных лессовидных суглинках, подстилаемых древнеаллювиальными красноцветными породами неогена, на красно-бурых глинах.



Рис. 5. Общий вид некосимого участка «Рождественка» (А) и косимого участка «Коровино» (Б). Фото в июне 2024 г.

Fig. 5 The unmown site “Rozhdestvenka” (A) and the mowed site “Korovino” (B). Photo taken in June 2024.

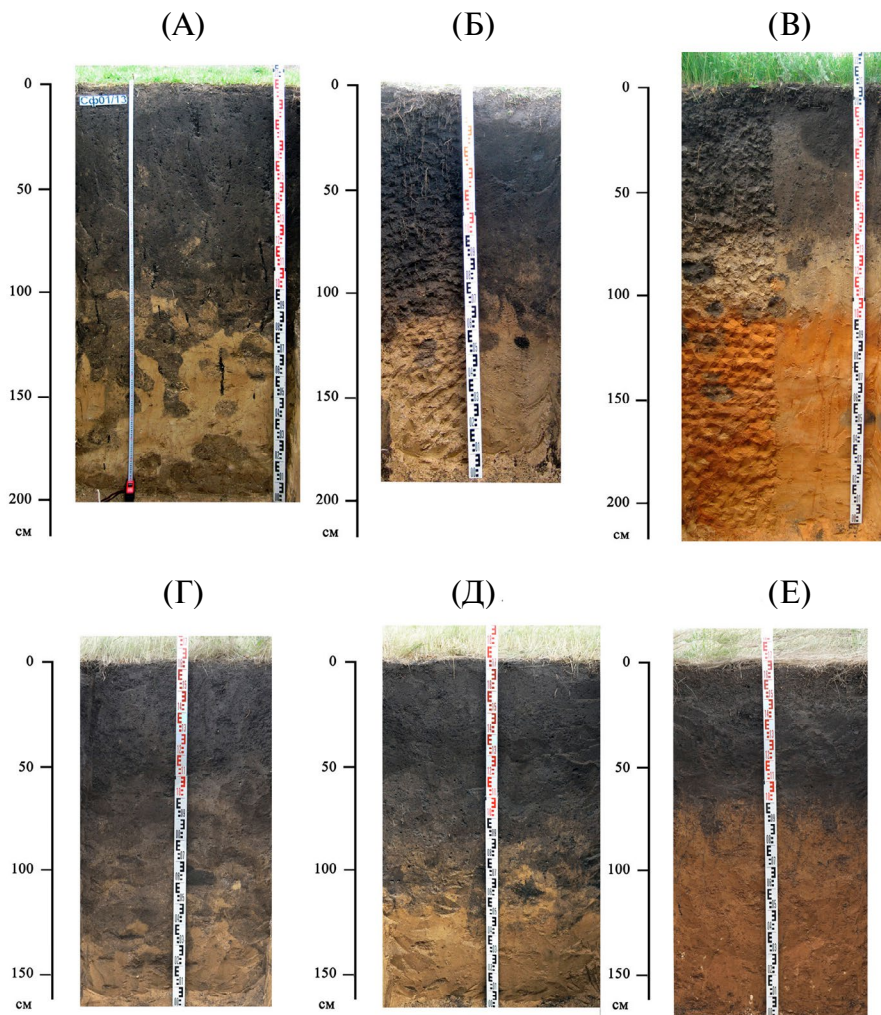


Рис. 6. Профили автоморфных черноземов сенокосов–выгонов, изученных на юге лесостепи Среднерусской возвышенности (названия участков приводятся в соответствии с рис. 1): А — чернозем типичный на лессовидном карбонатном тяжелом суглинке (участок “Сафоновка”); Б — чернозем типичный на лессовидной карбонатной глине (участок “Юрьевка”); В — чернозем выщелоченный на маломощном лессовидном карбонатном среднем суглинке, подстилаемом неогеновыми опесчаненными суглинками; Г — чернозем типичный на лессовидном карбонатном среднем суглинке (участок “Коровино”); Д — чернозем выщелоченный на лессовидном карбонатном тяжелом суглинке (участок “Коровино”); Е — чернозем выщелоченный на красно-бурой глине (участок “Триречное”).

Fig. 6. Profiles of automorphic Chernozems of hayfields (site names are provided in accordance with Fig. 1.) — pastures studied in the southern forest-steppe of the Central Russian Upland: А — Haplic Chernozem on loess-like carbonate heavy loam (site “Safonovka”); Б — Haplic Chernozem on loess-like carbonate clay (site “Yurievka”); В — Luvic Chernozem on thin loess-like carbonate medium loam, underlain by Neogene sandy loams; Д — Haplic Chernozem on loess-like carbonate medium loam (site “Korovino”); Е — Luvic Chernic Phaeozem on red-brown clay (site “Tririchnoe”).

На первых изученных нами участках в северо-западной части Белгородской области была определена средняя на каждом участке мощность гумусированной части профилей нативных черноземов выгонов–сенокосов. Изолинейная интерпретация изучаемого показателя отражена на рис. 7. По мере накопления новых данных на других участках исследования представленная на рис. 7 картосхема будет расширяться и корректироваться.

Особенностью верхних слоев почв на всех изученных участках выступает их отчетливо выраженная структурированность; в подавляющем большинстве случаев отмечалась зернистая или комковато-зернистая структура, причем зернистые агрегаты были прочными и с трудом разрушались при надавливании. На тонких корнях трав зернистые агрегаты формировали своеобразные “гирлянды” (рис. 8), которые как морфологическую особенность при описании целинных черноземов отмечали еще П. А. Костычев и В. В. Докучаев [5, 6].

Плотность верхней части почвенных профилей (слой 0–20 см) на ряде участков весьма близко соответствует известным целинным аналогам (согласно данным из работ [1, 20]) и составляет меньше 1 г/см^3 (участки “Сафоновка”, “Жимолостное”, “Юрьевка”), тогда как на других участках (“Коровино” и др.) в почвах явно присутствует остаточное уплотнение как следствие регулярного выпаса животных на протяжении длительного периода использования участков в качестве выгонов (рис. 9). В настоящее время мы не можем провести оценку достоверности различий по причине пока малой выборки — но можем отметить выявленные различия в качестве тенденции. Отмеченные различия в плотности почв находят весьма логичное объяснение, связанное с разной степенью нагрузки при выпасе животных, существовавшей в прошлом, а также с различным соотношением между сенокошением и выпасом животных на каждом участке.

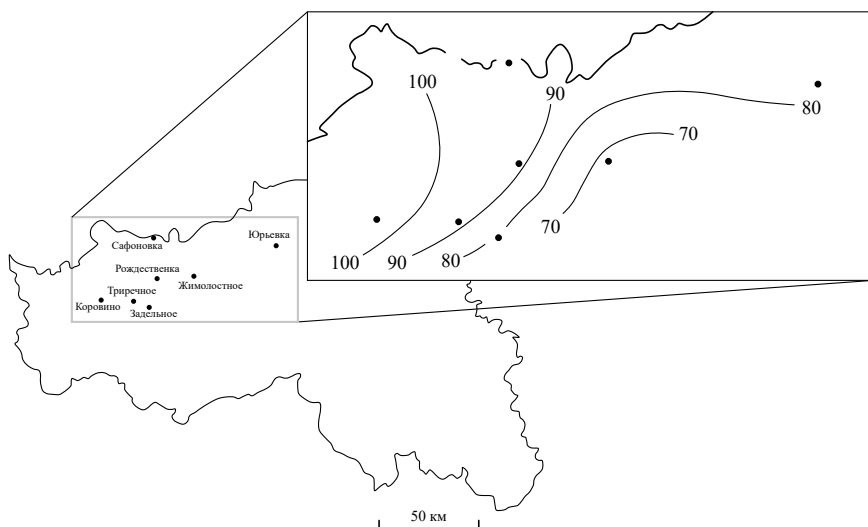


Рис. 7. Изолинейное распределение мощности (см) гумусированной части профилей эталонно значимых черноземов, изученных на 7 ключевых участках сенокосов — выгонов в лесостепной части Белгородской области (юг Среднерусской возвышенности).

Fig. 7. Isoline distribution of humus layer thickness (cm) in the profiles of benchmark Chernozems studied at 7 key hayfield-pasture sites in the forest-steppe region of Belgorod Oblast (southern Central Russian Upland).

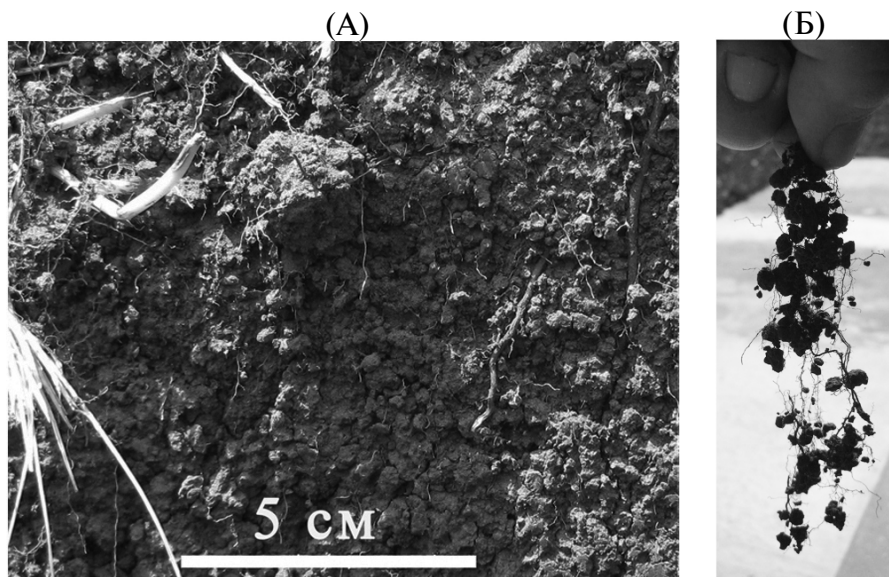


Рис. 8. Структура горизонта $A1^1$ (А) и зернистые агрегаты в корневой системе трав, формирующие “гирлянды” (Б) в профиле почвы на участке “Коровино”.

Fig. 8. Structure of horizon $A1^1$ (A) and grainy aggregates in the root system of grasses forming “garlands” (B) in the soil profile at the “Korovino” site.

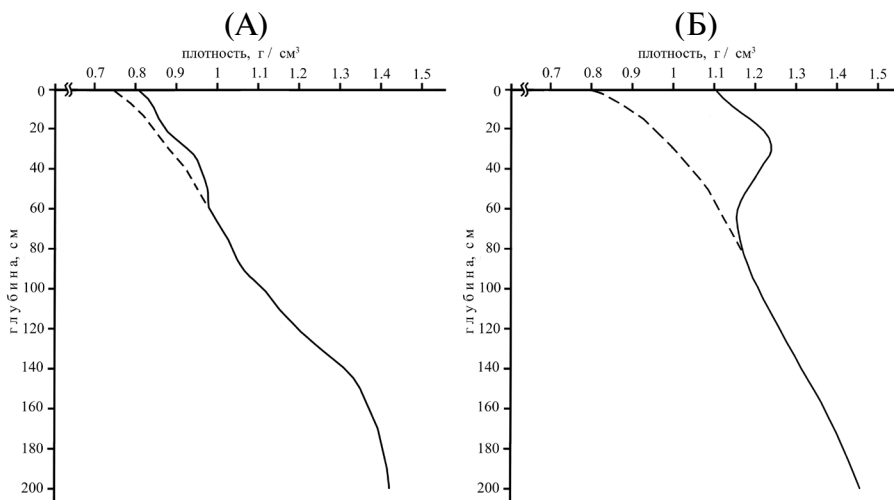


Рис. 9. Примеры профильного распределения плотности сложения среднесуглинистых черноземов на ключевых участках исследования: А — распределение, близкое к естественному в черноземе типичном (участок “Сафоновка”, среднее из показателей 2 разрезов); Б — распределение в черноземе типичном с повышенным уплотнением — индикатором выпаса животных (участок “Коровино”, среднее из показателей 3 разрезов). Пунктирная линия — реконструированная плотность в целинных почвах.

Fig. 9. Contrasting examples of profile distribution of bulk density in mid-loamy Haplic Chernozem at key research sites: А — distribution close to natural in a Haplic Chernozem (site “Safonovka”, average of 2 profiles); Б — distribution in a Haplic Chernozem with increased soil compaction — indicator of animal grazing (site “Korovino”, average of 3 profiles). Dotted line represents reconstructed density in virgin soils.

Данные лабораторного анализа ряда свойств эталонно значимых черноземов, изученных на сенокосах и выгонах, приводятся в табл. 1; согласно таблице, на изучаемой территории в зональных позициях лугово-степного почвообразования на сенокосах и выгонах распространены нативные тяжелосуглинистые черноземы типичные и выщелоченные по [6] (черноземы и черноземы глинисто-иллювиальные по [13] *Naiplic* и *Luvic Chernozem (Loamic)* по [22]) с высоким качеством агрономической структуры и высоким или хорошим качеством водопрочной структуры агрегатов. Запасы $C_{\text{орг}}$ в метровой толще почв варьируют от 227 до 319 т/га, что эквивалентно запасам гумуса 400–550 т/га. Эти данные находятся в соответствии с результатами изучения другими авторами запасов гумуса в целинных черноземах лесостепи — 440–600 т/га [1] и близки к уровню показателя на территории заповедного участка “Ямская степь” — в метровой толще черноземов на ровном водоразделе 340 т/га $C_{\text{орг}}$ или 590 т/га гумуса [117]. Запасы углерода карбонатов в 2-метровой толще изученных почв находятся в пределах 91–243 т/га. Общие запасы органического и неорганического углерода в 2-метровой толще почв составляют 340–370 т/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований были сделаны следующие главные выводы.

1. Почвы сенокосов и выгонов, сохранившиеся в ряде сел на юге Среднерусской возвышенности, представляют собой научный интерес для изучения эталонных свойств и функций нативных черноземов Центральной лесостепи. С помощью историко-картографического метода исследований было установлено, что на многих участках почвы сенокосов и выгонов никогда не распахивались, что предоставляет возможность рассмотрения профильных признаков данных почв как природных эталонов для сравнения с ними староосвоенных черноземов окружающих распахиваемых территорий.

2. Главным индикатором отсутствия распашки на изучаемых участках служит хорошо выраженная зернистая структура верхних слоев черноземов. Установлены количественные различия изучаемых почв по выраженности остаточного уплотнения верхней части почвенных профилей, обусловленного разной нагрузкой на почвы при выпасе животных и различным соотношением между сенокосением и выпасом скота.

3. Выявлено разнообразие плакорных вариантов нативных лугово-степных черноземов лесостепи в связи с широким латеральным варьированием почвообразующих пород в изучаемом пространстве: лессовидных карбонатных средних и тяжелых суглинков, маломощных лессовидных суглинков, подстилаемых красноцветными опесчаненными породами неогена, красно-бурыми глинами и др.

4. Запасы $C_{\text{орг}}$ в метровой толще изученных почв варьируют от 227 до 319 т/га, что эквивалентно запасам гумуса 400–550 т/га. Эти данные находятся в соответствии с известными сведениями о запасах гумуса в целинных черноземах лесостепи.

Исследования в указанном направлении будут продолжены на новых ключевых участках для уточнения и повышения репрезентативности полученных результатов. Отметим, что черноземы сенокосов и пастбищ, очевидно, подвержены большему антропогенному воздействию, чем черноземные почвы заповедных территорий. Вместе с тем эти отличия менее существенны по сравнению с различиями между заповедными и пахотными черноземами, потому что на охраняемых участках ряда

Таблица 1. Некоторые физические и химические свойства автоморфных нативных (на выгонах и сенокосах) черноземов лесостепи юга Среднерусской возвышенности (средние показатели парных профилей на каждом участке)

Table 1. Some physical and chemical properties of automorphic native (in pastures and hayfields) Chernozems of the forest-steppe in the southern part of the Central Russian Upland (average values of paired profiles at each site)

Слой, см	Плотность, г/см³	Фракция <0.01 мм, %	Коэффициенты		Запас, т/га	
			структурности	водопрочности	C _{орг}	C _{карб}
Участок “Сафоновка”, Н абс. 195 м, ГТК* = 1.19						
0–20	0.84	43.8	5.5	0.81	104	0
20–40	0.92	45.6	4.2	0.72	83	8
40–60	0.98	45.3	3.0	0.69	59	11
60–80	1.01	47.7	1.8	0.65	42	22
80–100	1.07	48.5	1.2	0.63	31	29
100–120	1.15	46.5	0.9	0.55	19	35
120–140	1.25	49.7	0.7	0.44	8	39
140–160	1.35	47.7	не опр.	не опр.	6	34
160–180	1.39	51.6	не опр.	не опр.	12	32
180–200	1.42	52.5	не опр.	не опр.	9	33
Участок “Жимолостное”, Н абс. 240 м, ГТК* = 1.15						
0–20	0.97	47.2	6.8	0.49	74	0
20–40	1.09	49.1	4.6	0.43	68	0
40–60	1.15	50.1	3.1	0.32	44	0
60–80	1.19	51.1	2.5	0.32	28	10
80–100	1.21	52.3	1.1	0.46	13	32
100–120	1.36	45.4	0.5	0.42	8	21
120–140	1.41	38.8	0.7	0.36	5	14
140–160	1.44	35.8	не опр.	не опр.	4	6
160–180	1.45	16.5	не опр.	не опр.	3	3
180–200	1.45	17.7	не опр.	не опр.	1	5
Участок “Юрьевка”, Н абс. 235 м, ГТК* = 1.12						
0–20	0.81	41.5	10.4	0.41	89	0
20–40	0.87	44.7	4.5	0.38	70	0
40–60	0.93	52.1	4.4	0.34	56	0
60–80	0.99	50.7	3.2	0.34	42	0
80–100	1.08	55.1	3.0	0.34	33	0
100–120	1.17	56.9	1.3	0.35	27	5
120–140	1.24	58.7	0.5	0.28	21	33
140–160	1.31	60.7	не опр.	не опр.	14	52
160–180	1.37	60.2	не опр.	не опр.	9	59
180–200	1.45	55.7	не опр.	не опр.	15	61

*— Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова.

заповедников разрешен выпас домашнего скота, который рассматривается как фактор-аналог по отношению к воздействию на почвы диких копытных животных. Следует также учитывать, что непаханные черноземы сенокосов и выгонов занимают существенно большие территории и представлены в более разнообразном спектре тополитологических и биоклиматических условий, чем заповедные черноземные почвы, что усиливает эталонную роль первых. С целью обозначения эталонного статуса почвы заповедников целесообразно именовать как “эталонные черноземы”, тогда как чернозёмные почвы сенокосов и пастбищ можно рассматривать как “эталонно значимые чернозёмы”.

ФИНАНСИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-17-00154 “География, свойства и эталонные функции нативных черноземов лесостепи юга Среднерусской возвышенности”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьева Е. А.* Черноземы Среднерусской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
2. *Гедымин А. В., Побединцева И. Г.* Влияние длительной распашки на некоторые свойства почв лесостепи // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. С. 77–119.
3. *Герцык В. В.* Сезонная динамика гумуса в мощных черноземах. // Тр. Центр.-Черноземн. заповеди. Курск. 1959. Вып. 5. С. 315–338.
4. *Грошева О. А.* Эволюционное развитие черноземов и степей Евразии в исторической ретроспективе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 12. С. 31–35.
5. *Докучаев В. В.* Русский чернозем: Отчет Императорскому вольному экономическому обществу / В. В. Докучаев. СПб: Изд-во Императорского вольного экономического общества, 1883. 376 с.
6. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Изд-во “Колос”, 1977. 221 с.
7. *Костычев. П. А.* Чем разнится почва степных новей от почвы пашен и залогов // Земледельческая газета. 1881. № 35. С. 620–623.
8. *Кукса И. В.* Исследование динамики распространения лесов по космическим снимкам и старым картам: диссертация ... кандидата географических наук: 05.24.03. Москва, 1993. 144 с.
9. *Лебедева И. И.* Гидрологические профили миграционно-карбонатных (типичных) черноземов и агрочерноземов // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1214–1223.
10. *Лисецкий Ф. Н.* Пространственно-временная организация и почвозащитное обустройство агроландшафтов: диссертация ... доктора географических наук: 11.00.05, Одесса, 1994. — 482 с.
11. *Люри Д. И., Горячкин С. В., Караваева Н. А., Денисенко Е. А., Нефедова Т. Г.* Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. — М.: ГЕОС, 2010. — 416 с.
12. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. М.: Наука, 1982. — 175 с.
13. Полевой определитель почв. М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
14. *Русаков А. В.* Почвы и почвенный покров Ямской степи. — Санкт-Петербург: Издательский дом Санкт-Петербургского гос. ун-та, 2012. 215 с.

15. Тишков А. А. Новые подходы к сохранению степей староосвоенных черноземных регионов России // Вопросы степеведения. 2024. № 1. С. 22–31.
16. Харитоньев А. Т. Роль хозяйственной деятельности человека в изменении ландшафтов Горьковского правобережья. Горький, 1960. 150 с.
17. Чендев Ю. Г., Геннадиев А. Н., Смирнова М. А., Лебедева М. П., Плотникова О. О., Заздравных Е. А., Шаповалов А. С. Ранние стадии эволюции черноземов под лесной растительностью (Белгородская область) // Почвоведение. 2022. № 4. С. 387–404.
18. Чендев Ю. Г., Хохлова О. С., Александровский А. Л. Агрогенная эволюция автоморфных черноземов лесостепи (Белгородская область) // Почвоведение. 2017. № 5. — С. 515–531.
19. Чернова О. В. Сохранение естественных почв на охраняемых природных территориях Российской Федерации // Известия РАН. Серия географическая. 2021. № 2. — С. 30–37.
20. Щеглов Д. И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 214 с.
21. Belevantsev, V.G., Chendev, Y.G., Terehin, E.A., Lebedeva, M.G., Solovyov, A.B. GIS based analysis of forest cover change in Belgorod oblast, Russia: 1780s–2010s // International Journal of Geoinformatics. 2019. Vol. 15. № 4. Pp. 11–18.
22. IUSS Working Group WRB. 2022 World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 234 p.
23. Lozbenev, N., Smirnova, M., Bocharnikov, M., Kozlov, D. Digital mapping of habitat for plant communities based on soil functions: a case study in the virgin forest-steppe of Russia // Soil Systems. 2019. V. 3. № 1. P. 19.
24. Smelansky I. E., Tishkov A. A. The Steppe Biome in Russia: Ecosystem Services, Conservation Status, and Actual Challenges. M.J.A. Werger and M.A. van Staalduinen (eds.), Eurasian Steppes // Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World, Plant and Vegetation 6. Springer Science, Business Media B.V. 2012. P. 45–101.
25. Trofimov, I. A., Trofimova, L. S., Yakovleva, E. P., Emelyanov, A. V., Skripnikova, E. Preserving the fertility of Russian Chernozems. Status, trends, forecast // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2021. V. 817. № 1. P. 012108.

Benchmark Native Chernozems in the Old-Settled Forest-Steppe: Search for Remaining Areas and Properties Analysis

Yu. G. Chendev^{1,*}, M. A. Smirnova^{2,}, A. N. Gennadiev^{2,***}, and V. G. Belevantsev^{1,****}**

¹Belgorod State National Research University, Institute of Earth Sciences

²Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

³Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS

*E-mail: sciences@mail.ru

**E-mail: summerija@yandex.ru

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

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

Abstract — The initial results of the search, identification, and analysis of small preserved areas of undisturbed Chernozem soils located in the watershed areas of the Central Russian Upland, outside of protected areas, are presented. To identify the steppe meadow areas that have always been hayfields and/or pastures, i.e. never plowed territories in the old forest-steppe, historical-cartographic analysis of antique

maps from the late 18th, mid-19th, mid-20th centuries and modern satellite images was used, supplemented by reconnaissance trips. In total, 45 such areas (with a total area of about 120 hectares) have been identified in the Belgorod oblast, ranging in size from a few dozen to tens of thousands of square meters. It has been shown that hayfields and pastures, preserved in several villages in the southern part of the Central Russian Upland, are of scientific interest for studying the standard properties and functions of native chernozems of the Central Forest-Steppe region. The main indicator of absence of ploughing in the studied areas is the water-resistant granular structure of the top layers of chernozems. The organic carbon stocks in the meter-thick studied soils range from 227 to 319 t/ha — which is in line with the known information about carbon stocks in virgin black soils of the forest-steppe. It has been shown that the diversity of sod variants of native meadow-steppe chernozems is determined by differences in soil-forming rocks: loess-like carbonate medium and heavy loams, thin loess-like loams, red sandy Neogene rocks, and red-brown clays. Differences in the degree of compaction of the upper part of the soil profiles have been discovered, which are caused by varying pressure resulting from livestock grazing, as well as the different ratio of haymaking and grazing depending on local conditions and sites.

Keywords: native chernozems, soil protection, soil monitoring, soils of the Belgorod oblast, carbon stocks

REFERENCES

1. Afanas'eva E.A. *CHernozemy Srednerusskoj vozvysheynosti*. M.: Nauka, 1966. 224 s.
2. Gedymin A. V., Pobedinceva I. G. *Vliyanie dlitel'noj raspashki na nekotorye svojstva pochv lesostepi // Pochvenno-geograficheskie i landshaftno-geohimicheskie issledovaniya*. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1964. S. 77–119.
3. Gercyk V.V. *Sezonnaya dinamika gumusa v moshchnyh chernozemah. // Tr. Centr.-Chernozemn. zapovedi. Kursk. 1959. Vyp. 5. S. 315–338.*
4. Grosheva O.A. *Evolucionnoe razvitie chernozemov i stepej Evrazii v istoricheskoy retrospektive // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2020. № 12. S. 31–35.
5. Dokuchaev V.V. *Russkij chernozem: Otchet Imperatorskomu vol'nomu ekonomicheskomu obshchestvu / V.V. Dokuchaev*. SPb: Izd-vo Imperatorskogo vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva, 1883. 376 s.
6. Kostychev. P.A. *CHem raznitsya pochva stepnyh novej ot pochvy pashen i zalogov // Zemledel'cheskaya gazeta*. 1881. № 35. S.620–623.
7. *Klassifikacija i diagnostika pochv SSSR (Classification and diagnostics of soils of the USSR)*. M.: Izd-vo "Kolos", 1977, 221 p.
8. Kuksa I. V. *Issledovanie dinamiki rasprostraneniya lesov po kosmicheskim snimkam i starym kartam: dissertacija ... kandidata geograficheskikh nauk: 05.24.03. Moskva, 1993. 144 s.*
9. Lebedeva I. I. *Gidrologicheskie profili migracionno-karbonatnyh (tipichnyh) chernozemov i agrochernozemov // Pochvovedenie*. 2002. № 10. S. 1214–1223.
10. Liseckij F. N. *Prostranstvenno-vremennaya organizacija i pochvozashchitnoe obustrojstvo agrolandshaftov: dissertacija ... doktora geograficheskikh nauk: 11.00.05, Odessa, 1994. — 482 s.*
11. Lyuri D. I., Goryachkin S. V., Karavaeva N. A., Denisenko E. A., Nefedova T. G. *Dinamika sel'skohozyajstvennyh zemel' Rossii v HKH veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv. — M.: GEOS, 2010. — 416 s.*
12. *Paleogeografiya Evropy za poslednie sto tysyach let*. M.: Nauka, 1982. — 175 s.
13. *Polevoj opredelitel' pochv (Field soil identifier)*. M.: Pochvennyj institut im. V. V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.

14. Rusakov A. V. *Pochvy i pochvennyj pokrov Yamskoj stepi.* — Sankt-Peterburg: Izdatel'skij dom Sankt-Peterburgskogo gos. un-ta, 2012. 215 s.
15. Tishkov A. A. *Novye podhody k sohraneniyu stepej staroosvoennyh chernozemnyh regionov Rossii // Voprosy stepovedeniya.* 2024. № 1. S. 22–31.
16. Haritonychev A. T. *Rol' hozyajstvennoj deyatel'nosti cheloveka v izmenenii landshaftov Gor'kovskogo pravoberezh'ya. Gor'kij,* 1960. 150 s.
17. Chendev Y. G., Gennadiev A. N., Smirnova M. A., Lebedeva M. P., Plotnikova O. O., Zazdravnykh E. A., Shapovalov A. S. *Early stages of the evolution of chernozems under forest vegetation (Belgorod oblast) // Eurasian Soil Science.* 2022. V. 55. № 4. P. 387–403.
18. Chendev Y. G., Hohlova O. S., Aleksandrovskiy A. L. *Agrogenic evolution of automorphic chernozems in the forest-steppe zone (Belgorod oblast) // Eurasian Soil Science.* 2017. V. 50. № 5. P. 499–514.
19. Chernova O. V. *Sohranenie estestvennyh pochv na ohranyaemyh prirodnyh territoriyah Rossijskoj Federacii // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya.* 2021. № 2. — S. 30–37.
20. Shcheglov D. I. *CHernozemy centra Russkoj ravniny i ih evolyuciya pod vliyaniem estestvennyh i antropogennyh faktorov.* M.: Nauka, 1999. 214 s.
21. Belevantsev V. G., Chendev Y. G., Terehin E. A., Lebedeva M. G., Solovyov A. B. *GIS based analysis of forest cover change in Belgorod oblast, Russia: 1780s–2010s // International Journal of Geoinformatics.* 2019. Vol. 15. № 4. Pp. 11–18.
22. IUSS Working Group WRB. *2022 World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition.* International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 234 p.
23. Lozbenov N., Smirnova M., Bocharnikov M., Kozlov D. *Digital mapping of habitat for plant communities based on soil functions: a case study in the virgin forest-steppe of Russia // Soil Systems.* 2019. V. 3. № 1. P. 19.
24. Smelansky I. E., Tishkov A. A. *The Steppe Biome in Russia: Ecosystem Services, Conservation Status, and Actual Challenges.* M. J. A. Werger and M. A. van Staalduinen (eds.), *Eurasian Steppes // Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World, Plant and Vegetation 6.* Springer Science, Business Media B. V. 2012. P. 45–101.
25. Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P., Emelyanov A. V., Skripnikova E. *Preserving the fertility of Russian chernozems. Status, trends, forecast // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* — IOP Publishing, 2021. V. 817. № 1. P. 012108.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чендев Юрий Георгиевич

Профессор, докт. геогр. наук, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, институт наук о Земле, кафедра природопользования и земельного кадастра.

e-mail: sciences@mail.ru

Chendev Yuri Georgievich

Doctor of geogr.sc., Belgorod State National Research University, Institute of Earth Sciences, Department of Environmental Management and Land Cadastre, professor.

e-mail: chendev@bsu.edu.ru

Смирнова Мария Андреевна

Доц., канд. геогр. наук, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв.

e-mail: summerija@yandex.ru

тел.: 8 926 212-10-36

Smirnova Maria Andreevna

PhD. in Geography, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of landscape geochemistry and soil geography, assistant professor.

e-mail: summerija@yandex.ru

tel.: 8 926 212-10-36

Геннадиев Александр Николаевич

Профессор, докт. геогр. наук, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв.

e-mail: alexagenna@mail.ru

Gennadiev Alexander Nikolaevich

Professor, doctor of geogr.sc., Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of landscape geochemistry and soil geography.

e-mail: alexagenna@mail.ru

Белеванцев Валерий Григорьевич

Старший преподаватель, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, институт наук о Земле, кафедра природопользования и земельного кадастра.

e-mail: belaral@bk.ru

Belevantsev Valery Grigorievich

Senior lecturer, Belgorod State National Research University, Institute of Earth Sciences, Department of Environmental Management and Land Cadastre.

e-mail: belaral@bk.ru

УДК 331.5+332.1

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАНЯТОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

© 2024 г. М. А. Макушин

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: mihmakushin@mail.ru

Поступила в редакцию 19.08.2024 г.

После доработки 01.12.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

В статье анализируется пространственное распределение занятости в транспортно-логистическом комплексе (ТЛК) Московской агломерации и оцениваются факторы, влияющие на ее формирование. Оценка производится для муниципальных образований Московской области и трех административных округов г. Москвы, расположенных за МКАД, на основе данных базы данных показателей муниципальных образований (БДПМО), Циан, OpenStreetMap и Яндекс. Карт по состоянию на 2022 г. Отмечено, что самым значимым фактором является численность населения муниципального образования, а самым устойчиво значимым фактором стала совокупная площадь складских объектов в муниципальном образовании. Близость муниципалитета к ЦКАД — более значимый фактор, влияющий на занятость в ТЛК, чем близость к МКАД, так как у ЦКАД размещены крупные объекты логистической инфраструктуры, в то время как рядом с МКАД располагаются небольшие складские объекты. Значимым фактором выступает близость к аэропортам, так как аэропорты сами по себе генерируют высокую занятость и привлекают объекты логистической инфраструктуры (грузовые терминалы, складские объекты и т.д.). Влияние заработной платы на численность занятых в ТЛК высокое, однако ее значимость теряется на фоне других факторов. Достоинством используемого подхода является его доступность и понятность, в том числе для использования в бизнес-среде или в области государственного и муниципального управления.

Ключевые слова: трудовые ресурсы, складская недвижимость, логистическая инфраструктура, транспортно-логистический комплекс, Московская агломерация, факторы размещения

DOI: 10.31857/S0869607124040111, **EDN:** MNUMJI

ВВЕДЕНИЕ

Значимость транспортно-логистического комплекса (далее — ТЛК) в экономике регионов высока: она играет роль как в формировании ВРП, перемещении грузов и пассажиров на различные расстояния, так и в занятости местного населения и генерации его доходов. При этом для столичного региона за последние 5 лет роль ТЛК в ВРП незначительно снижается, а его доля в занятости — медленно повышается, что указывает на экстенсивный рост в отрасли. Значимость ТЛК для России и необходимость создания новой логистической инфраструктуры растет как в связи с расширением онлайн-продаж и потребностей в новых складских площадях

для ретейлеров [10], так и на фоне трансформации цепей поставок в 2022 г., переключения на поставки в восточном и южном направлениях [6].

В 2023 г. был отмечен исторический минимум безработицы по всей России, при этом дефицит кадров в ТЛК ощущался значимее [17], чем в среднем по экономике. Подобный дефицит выдвигает проблему трудовых ресурсов при развитии новых объектов логистической инфраструктуры на первое место и обостряет значимость этого фактора.

Цель исследования: оценка пространственных факторов, влияющих на занятость в транспортно-логистическом комплексе Московской агломерации.

Гипотезы:

Н1. Ключевыми факторами, положительно влияющими на численность занятых в ТЛК муниципального образования, выступают численность местного населения и уровень зарплаты.

Н2. Близость муниципального образования к МКАД — более значимый пространственный фактор для численности занятых в ТЛК, чем близость к ЦКАД.

Н3. Удаленность муниципального образования от аэропортов отрицательно влияет на численность занятых в ТЛК на его территории.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В России накоплен значительный опыт исследований по человеческому капиталу [9] и рынкам труда регионов и крупных городских агломераций [1, 2, 15]. Отмечается, что снижение безработицы становится трендом для российской экономики на фоне более быстрого сокращения численности населения, чем изменение числа рабочих мест [9]. В 2022 г. в ходе дополнительной загрузки производственных мощностей и усложнения цепей поставок дефицит кадров обострился исключительно остро, в том числе за счет продолжающегося сокращения численности населения при одновременном росте числа новых рабочих мест [17].

Москва и Московская область (Московский регион) входят в группу регионов, где рабочие места создаются быстрее, чем растет население, поэтому дефицит кадров здесь ощущается особенно остро [1]. При этом Московская агломерация, несмотря на значимую роль ядра в экономике и занятости, в достаточной степени децентрализована [2], что позволяет проводить исследования внутренней территориальной структуры занятости агломерации на муниципальном уровне. Подобная децентрализация объясняется как высокой научно-производственной базой Московского региона, сохранившейся еще с советского периода [5, 13], так и высокой инвестиционной привлекательностью в постсоветский период [4, 13]. Большое внимание исследователей привлекает и феномен Новой Москвы [20], включение которой в состав Москвы в 2012 г. изменило ряд трендов ее социально-экономического развития, особенно с точки зрения привлечения жилищных девелоперов, ускоренного развития коммерческой застройки (торговых, офисных и складских объектов).

Особенное внимание исследователей уделяется трудовым маятниковым миграциям в Московской агломерации [12], которые играют значимую роль в формировании территориальной структуры занятости населения: ряд муниципалитетов Москвы и Московской области играют роль “спальных районов” (например, муниципалитеты Новой Москвы), в то время как другие — наоборот, в большей степени являются центрами занятости населения, чем центрами расселения (почти все центральные районы Москвы) [14]. В то же время более 30% жителей Московской

области регулярно выезжают на работу в Москву, что значительно снижает трудовой потенциал Московской области, в том числе для развития логистической инфраструктуры; существует и обратный поток из Москвы в Московскую область, но он значительно меньше по масштабу и значимости [11].

Многие закономерности и особенности развития Московской агломерации рассматриваются не на данных Росстата, а на данных федеральной налоговой службы [2], которые имеют более точную территориальную привязку, но более сложны для обработки; на данных сотовых операторов [3, 12], которые гораздо точнее демонстрируют пространственную дифференциацию показателей и отражают более реальную ситуацию [4], однако не являются открытыми источниками и реализуются преимущественно на коммерческой основе. При этом в отраслевом разрезе занятость практически не рассматривается, тем более отсутствуют работы, посвященные занятым в ТЛК, так как дефицит кадров в отрасли обострился в 2023 г.

Занятость активно моделируется исследователями с точки зрения использования новых факторов [16], а также расчетов для малого и среднего бизнеса [8], однако для ТЛК подобных расчетов не составлялось. Помимо этого, не осуществлялись количественные оценки влияния на занятость фактора близости к объектам транспортно-логистической инфраструктуры (МКАД, ЦКАД, аэропортам и складским объектам) [5], что является новизной исследования.

Зарубежные исследователи значительно больше внимания уделяют ТЛК в целом, однако зачастую недоучитывают занятость как фактор развития отрасли. К примеру, изучению занятости в ТЛК посвящено исследование по муниципальным образованиям США в целом [18] и по городским агломерациям США [23] с рассмотрением влияющих на этот феномен факторов. Авторы приходят к выводу, что на численность занятых влияют численность населения, плотность автомобильных дорог, доход на душу населения или локальный рынок, а в случае крупных агломераций — еще и близость к аэропортам. В то же время в других моделях, например, европейских исследователей, занятость даже не добавляется в моделирование как фактор, влияющий на развитие логистической инфраструктуры [21], либо признается практически не значимой [22]. Отчасти это связано с большей автоматизацией европейских логистических центров, однако даже в таком случае занятость должна приниматься во внимание при оценке перспектив строительства и обслуживания новых объектов инфраструктуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Под *транспортно-логистическим комплексом* в работе будут пониматься виды деятельности по разделу Н “Транспортировка и хранение” ОКВЭД-2. Все данные собраны и рассчитаны применительно к муниципальным образованиям (далее — МО) Московской области и трем административным округам г. Москвы (Зеленоградский, Новомосковский, Троицкий округа), расположенным за МКАДом, так как в них занятость в ТЛК сопоставима с соседними МО Московской области.

Основными источниками данных (табл. 1) стали:

— База данных показателей по муниципальным образованиям (БДПМО) (численность занятых в ТЛК, уровень заработной платы в ТЛК, численность населения). Специфика БДПМО: данные представлены только по организациям крупного и среднего бизнеса. По данным сборника “Малое и среднее предпринимательство в России” за 2022 г., 81% работников ТЛК в Московской области занято на крупных

и средних предприятиях, поэтому мы предполагаем, что выборка БДПМО достаточно репрезентативна для анализа в пространственном разрезе.

— Данные Циан по площади складских объектов, сопоставленные с данными OpenStreetMap (OSM) и кадастровыми картами, пересчитанные по муниципальным образованиям.

— Расчеты автора с использованием Яндекс.Карт (близость к МКАД, аэропортам и ЦКАД). За центр МО были взяты координаты административного центра МО, с помощью Яндекс.Карт рассчитывалось кратчайшее расстояние от центра МО до ближайшего съезда на МКАД или ЦКАД и до ближайшего аэропорта (Жуковский, Домодедово, Внуково, Шереметьево). Индикаторы хорошо демонстрируют пространственную дифференциацию между МО и дают понятный для дальнейшего моделирования результат.

Все данные представлены на 2022 г.

Таблица 1. Специфика показателей, используемых в модели

Показатель	Обозначение	Источник данных, специфика расчета
Численность занятых в ТЛК, чел.	<i>EmL</i>	БДПМО, данные только по организациям крупного и среднего бизнеса
Близость к МКАД, км	<i>PrMKAD</i>	Расчеты автора, расстояние от административного центра МО до МКАД по автодорогам
Близость к аэропорту, км	<i>PrAir</i>	Расчеты автора, расстояние от административного центра МО до ближайшего аэропорта по автодорогам
Близость к ЦКАД, км	<i>PrCCR</i>	Расчеты автора, расстояние от административного центра МО до ЦКАД по автодорогам
Площадь складских объектов, тыс. кв. м	<i>WhSq</i>	Расчеты автора по данным Циан, сумма площадей существующих складских объектов классов А, В, С, попадающая в границы МО
Уровень зарплаты в ТЛК, руб.	<i>SaL</i>	БДПМО, данные только по организациям крупного и среднего бизнеса
Численность населения МО, чел.	<i>Pop</i>	БДПМО, данные учитывают только постоянное зарегистрированное население

Источник: составлено автором.

Всего в анализ вошли 49 МО Московской области и 3 административных округа г. Москвы. Из анализа дополнительно удалены МО, в которых, по данным Циан, OSM и кадастровых карт, нет существующих складских площадей, либо отсутствуют данные в БДПМО о занятых в ТЛК. Эти МО расположены на периферии Московской области, поэтому на анализ и значения коэффициентов влияния не оказывают.

Описательная статистика для всех показателей приведена в табл. 2.

Таблица 2. Описательная статистика индикаторов

Переменная	<i>EmL</i>	<i>WHSq</i>	<i>PrMKAD</i>	<i>PrAir</i>	<i>PrCCR</i>	<i>SalL</i>	<i>Pop</i>
Среднее	3125	456.2	48.4	57.9	35.2	54581	149160
Медиана	1476	157.9	40.0	55.0	30.0	52745	128140
Минимум	10	5	5	10	5	36180	22531
Максимум	24220	2830.6	120	130	85	145740	518790
Ст. откл.	4989.9	658.1	37.5	31.4	20.7	19609	101560
Вариация	1.60	1.44	0.77	0.54	0.59	0.36	0.68
Асимметрия	3.01	1.90	0.44	0.29	0.67	1.90	1.23
Экссесс	8.91	3.18	-1.16	-0.84	-0.55	8.81	1.95
5% Проц.	35.5	5	5	12.5	7.5	37090	22945
95% Проц.	18710	2069.3	115	110	72.5	87873	332500
Межквартильный размах	2964.5	621.5	70	55	30	14477	138400

Источник: составлено автором.

Для расчетов была использована регрессионная модель по методу наименьших квадратов. Формула в общем виде выглядит следующим образом:

$$EmL = const \times PrMKAD^{\alpha_1} \times PrAir^{\alpha_2} \times PrCCR^{\alpha_3} \times WHSq^{\alpha_4} \times SaL^{\alpha_5} \times Pop^{\alpha_6}. \quad (1)$$

где *const* — общий эмпирический коэффициент, α — частные эмпирические коэффициенты для каждого индикатора, обозначенные соответствующими индексами.

Все переменные были дополнительно логарифмированы:

$$\ln EmL = const + \alpha_1 \ln PrMKAD + \alpha_2 \ln PrAir + \alpha_3 \ln PrCCR + \alpha_4 \ln WHSq + \alpha_5 \ln SaL + \alpha_6 \ln Pop. \quad (2)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Транспортно-логистический комплекс Московской агломерации делится на три ключевые составляющие: складские объекты, грузовые и пассажирские терминалы (аэропорты, крупные железнодорожные станции и контейнерные терминалы), офисы транспортно-логистических компаний, осуществляющих перевозки.

Если последние распределены более равномерно: ближе к МКАД, либо в связи с двумя другими составляющими — то складские объекты и терминалы неравномерно аккумулируют занятость, однако являются наиболее крупными работодателями. Так, наибольшая численность занятых характерна для МО, в границах которых или рядом с которыми расположены аэропорты: Лобня, Химки, Жуковский, Домодедовский городские округа (ГО) (рис. 1). Все более значимыми акцепторами занятости становятся складские объекты — на рис. 1 выделяются МО с большой численностью населения и одновременно большой занятостью в ТЛК: Подольск, Раменское, Лыткарино, Богородский, Дмитровский, Солнечногорский городские округа, которые обладают значительными складскими площадями. Выделяются также Рузский

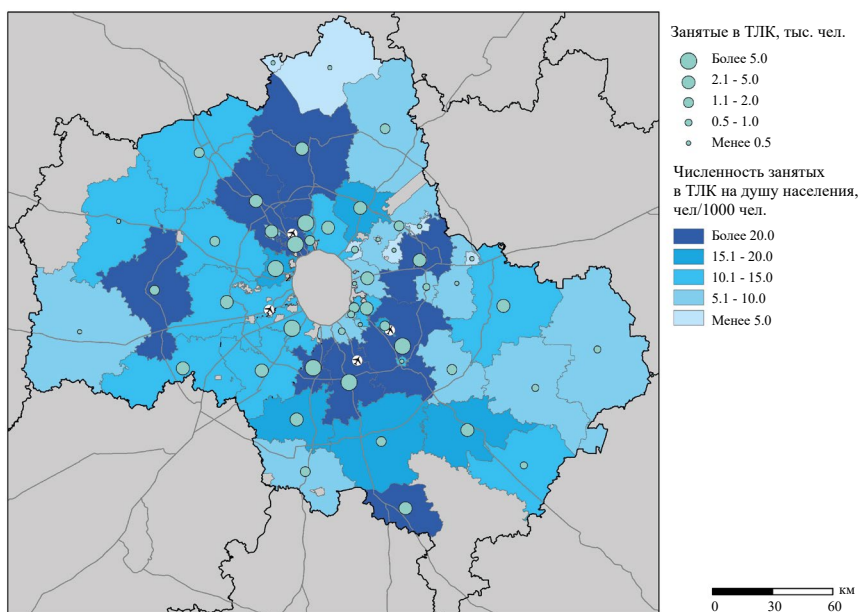


Рис. 1. Занятость в ТЛК Московской области. Источник: составлено автором.

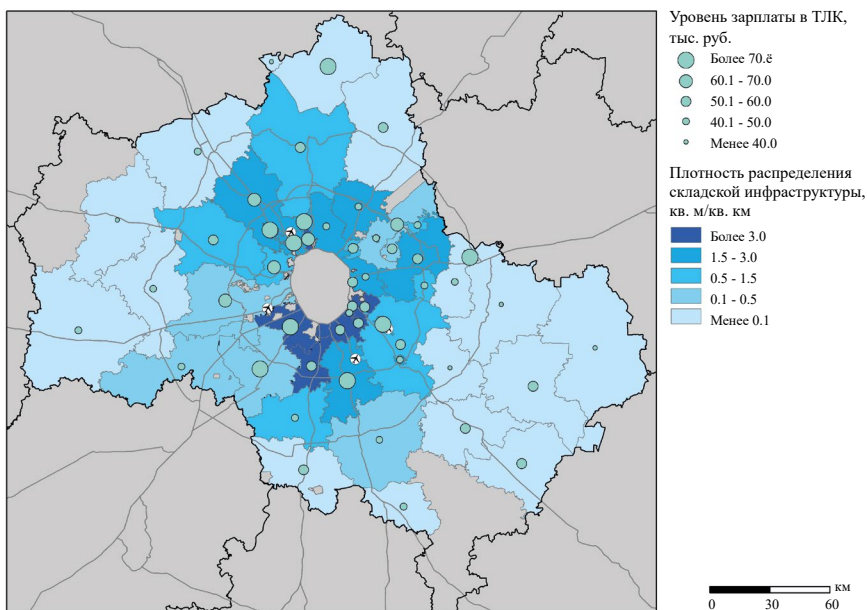


Рис. 2. Плотность распределения складской инфраструктуры и уровень заработной платы в ТЛК в Московской области. Источник: составлено автором.

и Ступинский ГО (ОЭЗ “Ступино Квадрат”), в которых высока роль обслуживания промышленного хранения и цепей поставок промышленных предприятий на фоне невысокой численности местного населения. Меньшими, но все еще высокими показателями численности занятых в ТЛК на душу населения обладают также Чеховский, Каширский, Коломенский, Пушкинский, Долгопрудный и Красногорский ГО (рис. 1), характеризующиеся высокой плотностью складской инфраструктуры (рис. 2).

Наименьшие удельные показатели характерны для периферийных МО (Электрoгорск, Дубна, Талдомский ГО), а также для малых городов-научоградов, долгое время закрытых для внешнего бизнеса (Фрязино, Черноголовка, Королев) и не испытывающих большой потребности в кадрах ТЛК. Невысокая численность занятых на душу характерна также для МО вблизи МКАД на юге и востоке от него, так как это одни из самых населенных МО региона, в которых население преимущественно работает в Москве и осуществляет ежедневные поездки на работу.

По плотности складских объектов четко выделяются несколько зон внутри региона (рис. 2): 1) наиболее плотная зона на юге, юго-востоке и севере региона вблизи МКАД (Подольск, Домодедово, Котельники, Люберцы, Лыткарино, Дзержинский, Долгопрудный); 2) высокоплотная зона на востоке и севере региона между МКАД и ЦКАД (Балашиха, Ногинск, Пушкино, Мытищи, Лобня, Химки, Солнечногорск); 3) среднеплотная зона, тяготеющая к ЦКАД (Чехов, Раменское, Электросталь, Дмитров, Истра, Красногорск); 4) низкоплотная зона, тяготеющая к ЦКАД (Одинцово, Наро-Фоминск, Кашира, Щелково); 5) разреженная периферийная зона с единичными складскими объектами (юго-восток, запад, а также крайний юг и север Московской области).

Уровень заработной платы в большей степени зависит от близости к крупным транспортным терминалам (аэропортам, контейнерным терминалам) или складским комплексам крупного бизнеса (Wildberries, Ozon, X5 Group и др.), предлагающим зарплату выше рынка.

В корреляционной матрице отражены зависимости между ключевыми показателями, используемыми в модели (табл. 3). Выявлено, что близость к МКАД, аэропортам и ЦКАД положительно влияет на уровень зарплат, численность населения и общую площадь складских объектов. Высокая заработная плата в ТЛК привлекает в отрасль большее количество занятых, как и большая площадь складских объектов.

Таблица 3. Корреляция между используемыми показателями

	EmL	WHSq	PrMKAD	Prair	PrCCR	SalL	Pop
EmL		0.51	−0.34	−0.48	−0.27	0.59	0.40
WHSq			−0.36	−0.41	−0.46	0.15	0.47
PrMKAD				0.65	0.63	−0.25	−0.42
Prair					0.61	−0.39	−0.40
PrCCR						−0.13	−0.27
SalL							0.02
Pop							

Источник: составлено автором.

Было сделано несколько расчетов с включением различных факторов в модель и исключением из нее (табл. 4), однако наилучший результат по значениям R-квадрат, а также критериям Акаике и Шварца показала модель с использованием всех факторов (модель 8).

Таблица 4. Результаты моделирования

Зависимая переменная	Численность занятых в транспортировке и хранении							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Константа	−11.37*** (2.51)	−11.19*** (2.93)	−6.78** (2.67)	−7.04** (2.73)	−7.61*** (2.72)	−5.73** (2.37)	−26.13*** (5.7)	−16.52** (6.32)
Численность населения	1.58*** (0.21)	1.57*** (0.23)	1.05*** (0.25)	1.47*** (0.2)	1.46*** (0.2)	0.91*** (0.22)	0.96*** (0.2)	0.95*** (0.18)
Близость к МКАД		−0.02 (0.16)		0.51*** (0.19)	0.53*** (0.19)	0.6*** (0.16)	0.25** (0.12)	0.48*** (0.14)
Близость к аэропортам				−1.24*** (0.3)	−1.36*** (0.31)	−1.13*** (0.27)		−0.75*** (0.27)
Близость к ЦКАД					0.32 (0.22)	0.71*** (0.21)	0.44** (0.19)	0.53*** (0.18)
Площадь складских объектов			0.34*** (0.1)			0.43*** (0.1)	0.42*** (0.1)	0.38*** (0.09)
Уровень зарплаты							1.62*** (0.45)	0.94* (0.49)
R-квадрат	0.53	0.54	0.61	0.64	0.65	0.74	0.77	0.81
Критерий Шварца	154.61	158.48	148.1	146.93	148.44	136.03	124.52	120.11
Критерий Акаике	150.82	152.81	142.42	139.36	138.98	124.68	113.29	107.01

Источник: расчеты автора.

Численность населения выступает в данном случае как фактор предложения трудовых ресурсов и фактор спроса на локальное потребление (много магазинов — значит, нужна логистическая инфраструктура и ее обслуживание) и является самым значимым фактором, влияющим на численность занятых в ТЛК. В высокой степени влияет и заработная плата ($\alpha_5 \approx \alpha_6$), однако значимость фактора на фоне других переменных снижается.

Близость к аэропортам — один из самых значимых индикаторов, так как аэропорты сами по себе обладают высокой потребностью в трудовых ресурсах, а также притягивают сопутствующую логистическую инфраструктуру (экспортно-импортные терминалы, распределительные центры, фулфилмент-центры). Чем дальше МО от аэропорта, тем ниже численность занятых в ТЛК.

Близость к ЦКАД, вопреки ожиданиям авторов, влияет на зависимую переменную больше, чем близость к МКАД: это объясняется размещением вблизи ЦКАД более крупных по площади распределительных центров с гораздо большей занятостью, чем вблизи МКАД (где преобладают небольшие сортировочные центры). Это в том числе иллюстрируется тем, что в модели без использования площади складских объектов близость к ЦКАД не значима, а с появлением данного индикатора ЦКАД получает значимый вес.

Суммарная площадь складских объектов МО влияет меньше, чем все остальные факторы, однако является одним из самых устойчиво значимых индикаторов (наравне с численностью населения). Склады выступают крупным аттрактором рабочей силы для МО Московской области и, несмотря на тренды к автоматизации, потребности в трудовых ресурсах для складов высокие и будут только увеличиваться в связи с ростом складского предложения и строительством крупных фулфилмент-центров онлайн-операторов (Wildberries, Ozon) с большой занятостью населения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отметим, что пространственное распределение индикатора заработной платы связано с гораздо большим числом факторов, чем с близостью МКАД, аэропортов и складских объектов. Действительно, выше доходы в ТЛК у занятых в аэропортах, а также на складских объектах крупных корпораций (Wildberries, Ozon и другие), однако не только и не столько они определяют уровень доходов в логистике — влияет также стартовый уровень зарплаты в МО (до прихода крупного бизнеса), институциональные механизмы поддержки бизнеса и населения. Из-за этого в некоторых МО заработная плата не подчиняется закономерностям географического распределения, и ее значимость как фактора размещения при моделировании снижается.

Значимость заработной платы двояка: с одной стороны, высокая зарплата способствует перетоку кадров из других сфер в ТЛК, с другой стороны, более низкая зарплата по сравнению с соседними МО является фактором размещения на его территории новых крупных объектов логистической инфраструктуры. В каждом конкретном случае решает не только заработная плата, но и наличие институциональных механизмов поддержки бизнеса [18].

Интересным фактом является неоднородность влияния близости к инфраструктурным объектам. Близость к ЦКАД может опережать МКАД по своему влиянию в том числе потому, что недоучитывается малый бизнес, который преобладает в МО, расположенных ближе к Москве. Отметим также, что все три типа близости в значительной степени коррелируют друг с другом, однако играют принципиально разную роль как факторы размещения (МКАД — обслуживание Москвы, аэропорты — обслуживание импортных и межрегиональных операций, ЦКАД — увеличение зоны обслуживания, обслуживание ЦФО), поэтому оставлены в модели все вместе.

Несмотря на то что коэффициенты влияния площади складских объектов на численность занятых в ТЛК самые низкие среди других факторов, влияние этого фактора будет повышаться в связи с дальнейшим строительством новых крупных складских комплексов в Московском регионе и привлечением трудовых ресурсов. Ключевым вопросом остается оценка сокращения численности занятых из-за автоматизации процессов на подобных объектах. По оценкам, автоматизация может привести к снижению численности занятых в ТЛК на 57% [7] к 2030 г. по всей России, однако автоматизация требует высоких затрат и качественного переформатирования занятости, повышения квалификации персонала, что в текущих условиях представляется нереалистичной перспективой. Тем не менее на фоне высокого дефицита кадров и отсутствия очевидных методов привлечения новых трудовых ресурсов в экономику мы ожидаем усиления тенденций автоматизации ТЛК, в особенности крупных складских объектов с наибольшей численностью занятых.

Важно отметить, что в исследовании недоучтены маятниковые миграции из других муниципальных образований Московской области и Москвы: несмотря на то,

что совокупные потоки маятниковых мигрантов внутри Московской области и Новой Москвы между всеми муниципальными образованиями не превышают 1 млн чел. [11], они могли бы дополнить картину факторов, влияющих на занятость в ТЛК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самыми устойчиво значимыми факторами, влияющими на численность занятых в ТЛК признаны численность местного населения как индикатор предложения рабочей силы и размера местного рынка сбыта, а также площадь складских объектов как индикатор высокого спроса на рабочую силу. Заработная плата признана значимым индикатором, однако ее значимость на фоне использования других переменных при моделировании снижается. Близость к различным объектам транспортной инфраструктуры (МКАД, ЦКАД, аэропортам) выступает значимым фактором, так как данные линейные элементы притягивают к себе крупные объекты логистической инфраструктуры с высокой занятостью населения. Это в том числе подтверждается фактом, что одним из самых устойчиво значимых индикаторов стала суммарная площадь складских объектов в МО.

Достоинством используемого подхода является его доступность и понятность, в том числе для использования в бизнес-среде или в области государственного и муниципального управления. Данные не нужно пересчитывать по разным базам данных или по новым административным ячейкам.

Практическая значимость исследования заключается в количественной оценке положительных эффектов для занятости населения от появления новых объектов логистической инфраструктуры (например, ЦКАД или крупных складских объектов). Использование модели поможет прогнозировать увеличение или уменьшение численности занятых в конкретных МО и в целом по региону с учетом изменения численности населения, площади складских объектов и уровня зарплаты. Подобные прогнозы важны для органов государственной и местной власти при принятии решений о реализации инвестиционных проектов на их территории и возможных бюджетных эффектов от их реализации: это касается проектов как отдельных крупных складских комплексов, так и ключевых автомагистралей (например, М-12 “Восток”), которые потенциально могут привлечь дополнительные проекты по созданию логистической инфраструктуры. Расчеты полезны и для бизнес-сообщества — например, для девелоперов и консультантов по складской недвижимости при анализе обеспеченности трудовыми ресурсами потенциальных территорий реализации проекта и выявления уровня конкуренции за рабочую силу.

Дальнейшими перспективами исследования станет анализ индикаторов в динамике, включение в модель данных по муниципальным образованиям соседних регионов. Перспективным является также досчитывание данных по малым и микропредприятиям с использованием базы данных СПАРК, добавление потока маятниковых трудовых мигрантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов Е. В. Динамика занятости и состояния рынков труда регионов России в 2010–2017 гг. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 64, № 4. С. 559–574.

2. Антонов Е. В. Рынки труда городских агломераций в России // Региональные исследования. 2020. Т. 2, № 68. С. 88–100.
3. Бабкин Р. А. Оценка численности населения муниципальных образований Московского столичного региона по данным операторов сотовой связи // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2020. № 4. С. 116–121.
4. Бабкин Р. А., Медведникова Д. М. Пространственная трудовая мобильность как индикатор для структурирования Московской агломерации // Регион: экономика и социология. 2024. № 2. С. 157–181.
5. Дыбская В. В. Логистика складирования: учебник. Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 796 с.
6. Земцов С. П., Барина В. А., Михайлов А. А. Санкции, уход иностранных компаний и деловая активность в регионах России // Экономическая политика. 2023. Т. 18, № 2. С. 44–79.
7. Земцов С. П. Цифровая экономика, риски автоматизации и структурные сдвиги в занятости в России // Социально-трудовые исследования. 2019, № 36(3), с. 6–17. <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2019-36-3-6-17>
8. Земцов С. П., Царева Ю. В., Салимова Д. Р., Барина В. А. Занятость в малом и среднем бизнесе в России: в поисках факторов роста // Вопросы экономики. 2021. № 12. С. 66–93.
9. Куричев Н. К., Рогов М. И., Антонов Е. В. и др. (2023). Человеческий потенциал в пространственном измерении: вызовы для резилиентности территорий России // Образовательная политика, № 3(95), 76–95. <https://doi.org/10.22394/2078-838X-2023-3-76-95>
10. Макушин М. А., Горячко М. Д. Географические закономерности развития рынка складской недвижимости в Московской агломерации // Региональные исследования. 2022. № 1. С. 17–30. <https://doi.org/10.5922/1994-5280-2022-1-2>
11. Махрова А. Г., Бабкин Р. А., Кириллов П. Л. Пространственно-временные особенности маятниковых миграций в Московском регионе // Журнал Новой экономической ассоциации. 2024. № 2(63). С. 249–256.
12. Махрова А. Г., Бабкин Р. А., Кириллов П. Л. и др. Исследования и оценки масштабов возвратной мобильности и пульсаций населения в пространстве современной России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 3. С. 332–352.
13. Махрова А. Г., Нефедова Т. Г., Трейвиш А. И. Московская область: территориальная структура постсоветских трансформаций // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87, № 8. С. 1207–1223.
14. Махрова А. Г., Бочкарев А. Н. Анализ локальных рынков труда через трудовые маятниковые миграции населения (на примере муниципальных образований Москвы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63, № 1. С. 56–68.
15. Полякова Т. А., Яковенко Н. В. Пространственная дифференциация уровня качества человеческого капитала в регионах центрального Черноземья (на примере Белгородской, Воронежской и Курской областей) // Экология урбанизированных территорий. 2020. № 3. С. 83–89. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-13083>.
16. Салимова Д. Р., Царева Ю. В., Земцов С. П. Влияют ли новые предприятия на рост занятости в регионах России: кратко- и среднесрочные эффекты // Вопросы экономики. 2023, № 3, с. 102–125. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-3-102-125>
17. Сошли с колес: в логистике не хватает 312 тыс. сотрудников // Известия [сайт], [2024]. URL: <https://iz.ru/1756939/kseniia-nabatkina-iana-shturma/soshli-s-koles-v-logistike-ne-khvatat-312-tys-sotrudnikov> (дата обращения: 04.12.2024)

18. *Carpenter C., Dudensing R., Van Sandt A.* Estimating Determinants of Transportation and Warehousing Establishment Locations Using U.S. Administrative Data // *Region: the journal of ERSA*, 9, 2022, 1, pp. 1–27. <https://doi.org/10.18335/region.v9i1.366>
19. *Guerrero D., Hubert J.-P., Koning M., Roelandt N.* On the spatial scope of warehouse activity: An exploratory study in France // *Journal of Transport Geography*. 2022. vol. 99(C). <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103300>
20. *Makhrova A. G., Kirillov P. L.* Trends in the development of the new moscow sector of the metropolitan agglomeration // *Regional Research of Russia*. 2018. Vol. 8, no. 3. pp. 238–247.
21. *Robichet, A., Nierat, P.* Consequences of logistics sprawl: Order or chaos?-the case of a parcel service company in Paris metropolitan area // *Journal of Transport Geography*. 2021, vol. 90, 102900.
22. *Sakai T., Beziat A., Heitz A.* Location factors for logistics facilities: Location choice modeling considering activity categories // *Journal of Transport Geography*. 2020, vol. 85, 102710.
23. *Weisbrod G., Goldberg J.* Relationship of Regional, Freight, and Intermodal Market Access to Industry Location and Productivity // *Transportation Research Record*, 2022. <https://doi.org/10.1177/03611981221131306>

Spatial Distribution of Employment in Logistics Sector of Moscow Agglomeration

M. A. Makushin

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: mihmakushin@mail.ru*

Abstract – The article analyzes the spatial distribution of employment in the transport and logistics complex (TLC) of the Moscow agglomeration and evaluates the factors influencing its formation. The assessment is carried out for municipalities of the Moscow region and three administrative districts of Moscow located beyond the Moscow Ring Road, based on data from the database of indicators of municipalities (BDPMO), Cian, OpenStreetMap and Yandex.Maps as of 2022. It is noted that the most significant factor is the population of the municipality, and the most consistently significant factor was the area of warehouse facilities in the municipality. The proximity of the municipality to the Central Ring Road is a more significant factor affecting employment in the TLC than proximity to the MKAD, since large logistics infrastructure are located near the Central Ring Road, while small warehouse facilities are located next to the MKAD. Proximity to airports is a significant factor, since airports themselves generate high employment and attract logistics infrastructure (cargo terminals, warehouse facilities, etc.). The impact of wages on the number of employees in TLC is high, but its importance is lost against the background of other factors. The advantage of the approach used is its accessibility and comprehensibility, including for use in the business environment or in the field of public and municipal administration.

Keywords: labor resources, warehouse facilities, logistics infrastructure, logistics complex, Moscow agglomeration, localization factors

REFERENCES

1. Antonov E. V. Dynamics of employment and the state of labor markets in Russian regions in 2010–2017 // *Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences*. 2019. Vol. 64, № 4. pp. 559–574.

2. Antonov E. V. Labor markets of urban agglomerations in Russia // *Regionalnye issledovaniya*. 2020. vol. 2, № 68. pp. 88–100.
3. Babkin R. A. Estimation of the population of municipalities in the Moscow Metropolitan region according to the data of mobile operators // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2020. № 4. pp. 116–121.
4. Babkin R. A., Medvednikova D. M. Spatial labor mobility as an indicator for structuring the Moscow agglomeration // *Region: Economics and Sociology*. 2024. № 2 (122). pp. 157–181. <https://doi.org/10.15372/REG20240207>
5. Dybskaya V. V. Logistics of warehousing: textbook. Vologda: Infra-Engineering, 2021. 796 p.
6. Zemtsov S. P., Barinova V. A., Mikhailov A. A. Sanctions, withdrawal of foreign companies and business activity in the regions of Russia // *Economic policy*. 2023. vol. 18, № 2. pp. 44–79.
7. Zemtsov S. P. The digital economy, automation risks and structural shifts in employment in Russia // *Social and labor research*. 2019. Vol. 36(3), pp. 6–17. <https://doi.org/10.34022/2658-3712-2019-36-3-6-17>
8. Zemtsov S. P., Tsareva Yu. V., Salimova D. R., Barinova V. A. Employment in small and medium-sized businesses in Russia: in search of growth factors // *Voprosy ekonomiki*. 2021. № 12. pp. 66–93.
9. Kurichev N. K., Rogov M. I., Antonov E. V. and others (2023). Human potential in the spatial dimension: challenges for the resilience of Russian territories // *Educational Policy*, vol. 3(95), pp. 76–95. <https://doi.org/10.22394/2078-838X-2023-3-76-95>
10. Makushin M. A., Goryachko M. D. Geographical patterns of warehousing property market in Moscow agglomeration // *Regional'nye Issledovaniya*. 2022. № 1. pp. 17–30.
11. Makhrova A. G., Babkin R. A., Kirillov P. L. Spatiotemporal commuting patterns in Moscow region // *Journal of the New Economic Association*. 2024. № 2 (63). pp. 249–256.
12. Makhrova A. G., Babkin R. A., Kirillov P. L. Studies and estimates of the scale of return mobility and population pulsations in the space of modern Russia // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya Geographiya*. 2022. Vol. 86, № 3. pp. 332–352.
13. Makhrova A. G., Nefedova T. G., Trayvish A. I. Moscow region: territorial structure of post-Soviet transformations // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya Geographiya*. 2023. Vol. 87, № 8. pp. 1207–1223.
14. Makhrova A. G., Bochkarev A. N. Analysis of local labor markets through labor pendulum migration of the population (on the example of Moscow municipalities // *Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences*. 2018. vol. 63, №. 1. pp. 56–68.
15. Polyakova T. A., Yakovenko N. V. Spatial differentiation of the human capital quality level in the Central Black Earth regions (Belgorod, Voronezh and Kursk regions) // *Ecology of urban areas*. 2020. № 3. pp. 83–89. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-13083>
16. Salimova D. R., Tsareva Yu. V., Zemtsov S. P. Do new enterprises affect employment growth in the regions of Russia: short- and medium-term effects // *Economic issues*. 2023. vol. 3, pp. 102–125. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-3-102-125>
17. Off the wheels: 312 thousand employees are missing in logistics // *Izvestia*, [2024]. URL: <https://iz.ru/1756939/ksenii-nabatkina-iana-shturma/soshli-s-koles-v-logistike-ne-khvataet-312-tys-sotrudnikov> (Available at: 04.12.2024)
18. Carpenter, C., Dudensing, R., Van Sandt, A. Estimating Determinants of Transportation and Warehousing Establishment Locations Using U. S. Administrative Data // *Region: the journal of ERSA*, 9, 2022, 1, 1–27. <https://doi.org/10.18335/region.v9i1.366>

19. Guerrero, D., Hubert, J.-P., Koning, M. & Roelandt, N. On the spatial scope of warehouse activity: An exploratory study in France // *Journal of Transport Geography*. 2022. vol. 99(C). <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103300>
20. Makhrova A. G., Kirillov P. L. Trends in the development of the new moscow sector of the metropolitan agglomeration // *Regional Research of Russia*. 2018. Vol. 8, № 3. P. 238–247.
21. Robichet, A., Nierat, P. Consequences of logistics sprawl: Order or chaos?-the case of a parcel service company in Paris metropolitan area // *Journal of Transport Geography*. 2021, vol. 90, 102900.
22. Sakai, T., Beziat, A., Heitz, A. Location factors for logistics facilities: Location choice modeling considering activity categories // *Journal of Transport Geography*. 2020, vol. 85, 102710.
23. Weisbrod G., Goldberg J. Relationship of Regional, Freight, and Intermodal Market Access to Industry Location and Productivity // *Transportation Research Record*, 2022. <https://doi.org/10.1177/03611981221131306>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Макушин Михаил Алексеевич

Аспирант, ведущий инженер, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова.

e-mail: mihmakush@mail.ru

тел.: +7 937 415-68-78

Makushin Mikhail Alekseevich

PhD Student, lead engineer, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University.

e-mail: mihmakush@mail.ru

tel: +7 937 415-68-78

УДК556.5

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОБРОВЫХ ПЛОТИН И ПРУДОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ПОВОЛЖЬЯ

© 2024 г. А. Г. Шарифуллин*, А. В. Гусаров**

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

*E-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

**E-mail: AVGusarov@mail.ru

Поступила в редакцию 01.09.2024 г.

После доработки 30.11.2024 г.

Принята к публикации 03.12.2024 г.

Бобры как млекопитающие, которые обладают уникальной способностью преобразовывать водотоки и их пойменно-русловые комплексы путем строительства плотин и связанных с ними прудов, интенсивно осваивают ручьи и особенно малые реки, а также небольшие протоки более крупных рек Восточной Европы. В ходе геодезической съемки с помощью GNSS-оборудования и полевого обследования четырех малых рек возвышенностей степной зоны Поволжья выявлены особенности размещения бобровых плотин и связанных с ними прудов, а также определены их некоторые морфометрические характеристики (высота и длина плотин, и их соотношение; длина прудов). Анализ продольных профилей рек показал существенную роль уклонов в размещении указанных бобровых сооружений: около 90% их расположено на уклонах речных русел менее 2%, в том числе 56% — менее 1%. Выявлена слабая и статистически незначимая тенденция увеличения высоты бобровых плотин, а также статистически значимый тренд уменьшения длины бобровых плотин и связанных с ними прудов по мере роста уклонов русел. Наибольшие средние высоты бобровых запруд приурочены к тем малым рекам, земли бассейнов которых значительно распашаны (преимущественно глинисто-суглинистые черноземы).

Ключевые слова: *Castor fiber* L., GNSS-приемник, русло, пойма, продольный профиль реки, Восточно-Европейская равнина

DOI: 10.31857/S0869607124040129, EDN: MNTNLJ

ВВЕДЕНИЕ

В начале XX в. евразийский бобр (*Castor fiber* L.) был в России на грани полного истребления. Малочисленные его колонии на Восточно-Европейской равнине сохранялись в то время лишь в бассейнах Днепра (бассейны рр. Березина, Сож, Припять, Тетерев, Ворскла и др.) и Дона (в бассейне реки Воронеж). В этой связи, для наиболее крупных колоний были организованы заповедники по сохранению оставшихся бобровых популяций (Березинский и Воронежский). Реакклиматизация *Castor fiber* L. на Восточно-Европейской равнине была начата с интродукции особей этого вида из Воронежского заповедника, а с 1948 г. — из Березинского заповедника и вторичных колоний, которые образовались в результате предыдущих выпусков [3]. К настоящему времени раннее заложенные колонии значительно расширились

(в том числе и в степной зоне), и численность этих животных в Европейской части России превысила 500 тыс. особей [9].

Строительная деятельность *Castor fiber* L. оказывает влияние на гидрологический и биохимический режимы малых рек, вносит изменения в биологическое разнообразие речных и пойменных биоценозов [4, 7, 10], приводит к трансформации продольных и поперечных профилей речных русел [24] через усиление боковой (на участках близ бобровых плотин) и глубинной (ниже плотин) русловой эрозии [13, 14], повышенное накопление наносов [12, 22], органических веществ и связанных с ними загрязнителей на дне бобровых прудов в пределах пойменно-русловых комплексов [14, 15]. Все это интегрируется в изменения ландшафтов в днищах долин водотоков [28, 31].

Малые реки степной зоны региона являются одним из важных источников обеспечения водой населенных пунктов и сельского хозяйства [2]. В условиях продолжающегося изменения климата, а также антропогенной нагрузки, происходит изменение водного режима малых рек и нарушение эрозионных и аккумулятивных процессов в их руслах, насыщение речных вод и наносов загрязняющими веществами, что приводит, в целом, к деградации этих гидрографических объектов [5, 6]. Одним из естественных методов восстановления малых рек могут служить бобровые сооружения (плотины и пруды), которые позволяют увеличить глубину водотоков [20] и снизить размывающую скорость их течения, перехватывают взвешенные и влекомые наносы и связанные с ними загрязнители [16, 17, 27]. Для того чтобы бобровые плотины и связанные с ними пруды стали широко применимым инструментом восстановления малых рек, прежде всего в степной и лесостепной зонах, необходимо выявить особенности их размещения и изменения их морфометрических характеристик вдоль самих рек. Несмотря на продолжающееся увеличение популяции и расширение ареала *Castor fiber* L. в регионе, исследования по данной тематике практически не проводятся. В этой связи целью данной работы является выявление особенностей размещения и изменения некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и связанных с ними прудов на малых реках возвышенностей степной зоны указанного региона, в котором это исследование проводится впервые.

ТЕРРИТОРИЯ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые исследования проводились в июне 2024 г. на четырех малых реках степной зоны Восточно-Европейской равнины (Среднее и Нижнее Поволжье (табл. 1 и 2, рис. 1)). Выбор этих рек был обусловлен их репрезентативностью для своего субрегиона по геолого-геоморфологическим условиям и наличием в них бобровой деятельности. Длина рек изменяется от 5.3 км до 14.4 км, площадь бассейнов — от 10.6 до 48.8 км². Водное питание исследуемых рек — смешанное, с преобладанием снегового. В связи с этим преобладающая доля годового стока воды рек приходится на весеннее половодье (март–апрель).

Бассейны изученных малых рек расположены в южной половине Приволжской возвышенности (Предволжье Саратовской области) — реки Ягодная и Жилой Ключ, и в Высоком Заволжье: на юго-востоке Бугульминско-Белебеевской возвышенности — р. Малая Ега, и на “отрогах” северо-западной оконечности возвышенности Общий Сырт — р. Пьянка. Информация о литологическом строении бассейнов рек приведена в таблице 3. В долинах изученных рек поймы морфологически выраже-

Таблица 1. Геодезические координаты устьев изученных малых рек и их положение в более крупных речных системах (см. рис. 1)

Table 1. Geodetic coordinates of the mouths of the studied small rivers and their position relative to larger river systems (see Fig. 1)

№	Река	Координаты		Система реки
		Широта	Долгота	
1	Ягодная	51.9745897	45.6038035	Чардым
2	Жилой Ключ	52.5011607	47.5631181	Терешка
3	Малая Ега	53.6110688	51.976296	Большой Кинель
4	Пьянка	53.1600346	52.6059219	Бузулук

Таблица 2. Некоторые количественные характеристики изученных малых рек и их бассейнов

Table 2. Some quantitative characteristics of the studied small rivers and their basins

№	Реки	Характеристики					
		$\bar{L}$, км	F , км ²	ΔH , м	H , м	α , %	Ant, %
1	Ягодная	5.3	10.6	102.4	285	1.93	35
2	Жилой Ключ	14.4*	48.8	147.3	156	1.02	33
3	Малая Ега	8.0	19.3	116.3	145	1.45	77
4	Пьянка	10.4	35.1	84.5	191	0.81	76

$\bar{L}$ — длина реки от истока (включая сухую долину (балку) в верховье) до устья; F — площадь бассейна реки; ΔH — падение реки; H — средняя высота бассейна реки, α — уклон реки; Ant — доля культивируемых (за исключением заброшенных) земель в общей площади бассейна реки. * — длина обследованного участка русла реки.

ны небольшими фрагментами, а речные террасы — более крупными массивами. Естественная растительность на приводораздельных поверхностях представлена фрагментами сосново-дубовых и липово-кленовых лесов и сообществами богато-разнотравных типчаково-ковыльных лугов [1, 8]. Вдоль рек, на их поймах и низких террасах, комбинируются сообщества из мелколиственных лесов, кустарников и влажнотравных лугов. Преобладающим подтипом почв в бассейнах четырех рек являются черноземы обыкновенные, преимущественно суглинистые и глинистые, которые в ходе хозяйственного освоения степной зоны были значительно распаханы. Исследуемые реки протекают в следующих административных регионах Европейской части России: Саратовская, Самарская и Оренбургская области.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые работы

Продольное профилирование рек проводилось методом спутникового позиционирования (GNSS—приемник — Trimble R-10). Съёмка русел малых рек производилась в режиме “Radio RTK”, главной особенностью которого является использование базовой станции и ровера. Базовая станция во время съёмки использовалась как стационарное устройство для непрерывного обеспечения мобильного ровера информацией об измерениях и коррекции для постобработки и высокоточного

позиционирования в реальном времени. При работе в радиорежиме стандартное отклонение полученных координат и высот составило, в среднем, не более 20 мм в плане и не более 30 мм по высоте. GNSS-приемником были определены плановые и высотные отметки уреза воды рек и бобровых прудов: положение и высота уреза воды на изгибах рек, высота нижнего (при наличии) и верхнего бьефов прудов у бобровых плотин и пр. Дополнительно определялись высота (h) и длина (D) бобровых плотин с помощью, соответственно, геодезической вешки и рулетки. Высота плотин измерялась от подножия нижнего борта плотины в тальвеге русла до уровня максимальной высоты плотины. Длина плотины измерялась вдоль ее гребня. Длина пруда (L) определялась как расстояние от плотины до точки выклинивания поверхности пруда по кратчайшей ломаной (или прямой, в зависимости от плановой морфологии пруда) линии. Эти метрические подходы были ранее апробированы различными исследователями [11, 18, 19, 29].

Камеральные работы

В программное обеспечение Trimble Business Center загружались данные с GNSS-приемника, где они обрабатывались путем редактирования и уравнивания. В программе QGIS для каждой отметки уреза реки и положения плотин, а также их нижнего и верхнего бьефов определялось расстояние от устья исследуемой реки. В программе Excel по вышеперечисленным параметрам были построены продоль-



Рис. 1. Положение изученных малых рек. I – границы административных регионов Российской Федерации; II – административные центры регионов; III – положение устьев изученных малых рек: 1 – река Ягодная, 2 – река Жилой Ключ, 3 – река Малая Ега, 4 – река Пьянка (координаты устьев рек приведены в табл. 1); IV – средние и крупные реки; V – водохранилища и озера.

Fig. 1. Location of the studied small rivers. I – borders of administrative regions of the Russian Federation; II – administrative centers; III – location of the mouths of the studied small rivers: 1 – Yagodnaya River, 2 – Zhiloy Klyuch River, 3 – Malaya Yoga River, and 4 – Pyanka River (the coordinates of the mouths of the rivers are given in Table 1); IV – medium-size and large rivers; V – reservoirs and lakes.

Таблица 3. Преобладающие поверхностные горные породы в бассейнах изученных малых рек
Table 3. The predominant surface rocks in the basins of the studied small rivers

Бассейны рек	Литологическое строение	
	Коренные породы	Четвертичные отложения
Ягодная	Пески, песчаники, опоки (палеоцен)	Элювиальные глины и суглинки
Жилой Ключ	Мел и опоки (верхний мел)	Делювиальные и элювиальные суглинки с включением щебня
Малая Ега	Глина и алевролит (верхняя пермь)	Делювиальные суглинки
Пьянка	Глина и алевролит (верхняя пермь)	Делювиальные суглинки с включением щебня и дресвы

ные профили четырех малых рек, определена плотность бобровых плотин вдоль них, а также общие и частные уклоны русел рек.

Помимо вышеприведенных характеристик, были определены следующие количественные и качественные показатели, относящиеся к исследуемым рекам и их бассейнам (см. табл. 1): длина реки от истока (включая, как правило, небольшую сухую долину в ее верховьях) до устья ($\bar{L}$), рассчитанная по результатам полевых исследований; площадь бассейна реки (F), определяемая по цифровым моделям рельефа SRTM4 путем выделения линий водораздела в программе QGIS; средняя высота бассейна реки (H), определенная по данным SRTM в программе QGIS; падение реки (ΔH) — разница между максимальной и минимальной абсолютными отметками урезов воды реки, полученными в полевых условиях; уклон реки (α), рассчитываемый как отношение падения (ΔH) реки к ее длине ($\bar{L}$); преобладающие породы, составляющие поверхность бассейна реки (Lit), согласно геологической карте дочетвертичных и четвертичных отложений (см. табл. 3); доля площади обрабатываемых (без учета заброшенных) земель в общей площади бассейна реки — Ant (см. табл. 1).

Статистический анализ данных

Статистическая обработка данных проводилась в приложении XLSTAT 2016.02.28451 для Microsoft Excel. Сравнение средних значений осуществлялось с применением t -теста Стьюдента, а выявление тенденций и их статистической значимости в рядах данных — теста Манна—Кендалла. Эти ряды предварительно проверялись на однородность (тесты Петтитта и Буйшанда).

Результаты

На четырех изученных малых реках степной зоны возвышенного Поволжья было выявлено в общей сложности 158 бобровых плотин и связанных с ними прудов (табл. 4). Наиболее высокая плотность плотин определена для относительно короткой реки Ягодная — 8.3 ед./км для всего русла реки и 12.9 ед./км — для обводненной в межень (в период полевых работ) его части; наиболее низкая — на самой длинной реке Жилой Ключ — всего 1.3 ед./км и 1.8 ед./км соответственно.

На продольных профилях изученных рек практически все бобровые плотины и связанные с ними пруды (почти 99%) размещаются на участках с уклонами менее 3% (рис. 2). Причем в 90% случаев они располагаются на уклонах русел менее 2%, в том числе в 56% случаев — менее 1%.

Выявлена слабовыраженная тенденция увеличения высоты бобровых плотин (h) по мере роста уклонов русел рек (рис. 3). Однако эта тенденция, согласно тесту Манна–Кендалла, не является статистически значимой (табл. 5).

С увеличением уклонов русел малых рек наблюдается статистически значимое ($p = 0.05$) уменьшение длины бобровых плотин (D) (табл. 5). Критическое значение уклонов русел, при котором происходит статистически значимое изменение длины плотин, составляет 0.75% (согласно тесту Петтитта; $p = 0.031$) (табл. 5). В то же время альтернативный тест Буйшанда не выявил такого критического уклона русел, отнеся ряд зависимости $D/h = f(\alpha)$ к однородному.

Также выявлена статистически значимая тенденция ($p = 0.001$) уменьшения соотношения длины и высоты бобровых плотин (индекс D/h) по мере увеличения

Таблица 4. Количество и плотность плотин на изученных малых реках степного Поволжья (N – количество бобровых плотин, ρ – плотность бобровых плотин относительно всей длины речного русла, β – плотность бобровых плотин относительно длины обводненной в межень части речного русла во время полевых работ)

Table 4. The number and density of beaver dams in the studied small rivers of the steppe zone of the Volga Region (N is the number of beaver dams, ρ is the density of beaver dams along the entire length of the river channel, β is the density of beaver dams relative to the length of the river channel flooded in the low–water season during fieldwork)

№	Реки	N , ед.	ρ , ед./км	β , ед./км
1	Ягодная	44	8.3	12.9
2	Жилой Ключ	18	1.3	1.8
3	Малая Ега	51	6.4	6.9
4	Пьянка	45	4.3	4.4

Таблица 5. Результаты статистического тестирования рядов зависимости некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов изученных малых рек от уклонов их русел (α) (см. рис. 3)

Table 5. Results of statistical testing the data series of some morphometric parameters of beaver dams and ponds of the studied small rivers depending on the slopes of their channels (α) (see Fig. 3)

Тестирование		Морфометрические параметры			
		$h = f(\alpha)$	$D = f(\alpha)$	$D/h = f(\alpha)$	$L = f(\alpha)$
Линейный тренд ряда	Тест Манна– Кендалла	Отсутствует; $p = 0.241^1$	Присутствует; [–]; $p = 0.05$	Присутствует; [–]; $p = 0.001$	Присутствует; [–]; $p < 0.0001$
	Тест Петтитта	Однородный $p = 0.223^2$	Неоднородный [0.75]; $p = 0.031$	Неоднородный [0.90]; $p = 0.007$	Неоднородный [0.78]; $p < 0.0001$
Однородность ряда	Тест Буйшанда	Однородный $p = 0.364$	Однородный $p = 0.294$	Однородный $p = 0.107$	Неоднородный [0.78]; $p < 0.0001$

¹ Статистическая вероятность присутствия тренда ([–] – отрицательный тренд); ² Статистическая вероятность неоднородности ряда; [0.75], [0.90], [0.78] – критические величины уклонов русел малых рек (в %) при неоднородности ряда.

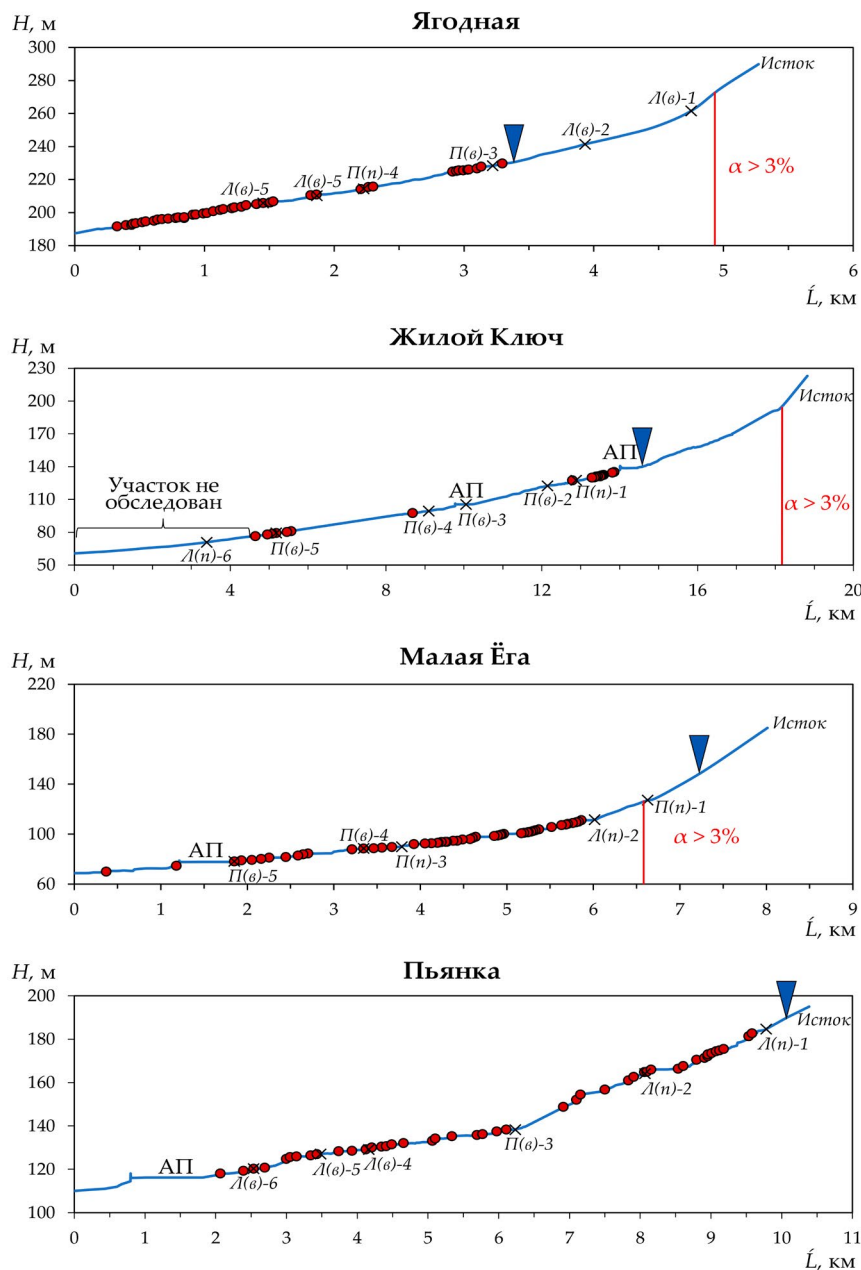


Рис. 2. Продольные профили изученных малых рек ($\bar{L}$ – горизонтальное проложение, H – абсолютная высота, Π и Λ – правый и левый притоки соответственно, n и $в$ – постоянный и временный водотоки соответственно, α – средний уклон русла, АП – антропогенный пруд; треугольник – положение истока реки в межень во время полевых работ).

Fig. 2. Longitudinal profiles of the studied small rivers ($\bar{L}$ – horizontal distance, H – absolute elevation, Π and Λ – right and left tributaries respectively, n and $в$ – permanent and temporary watercourses respectively, α – the average slope of the riverbed, АП – anthropogenic pond; the triangle is the position of the river source during low-water flow in the period of fieldwork).

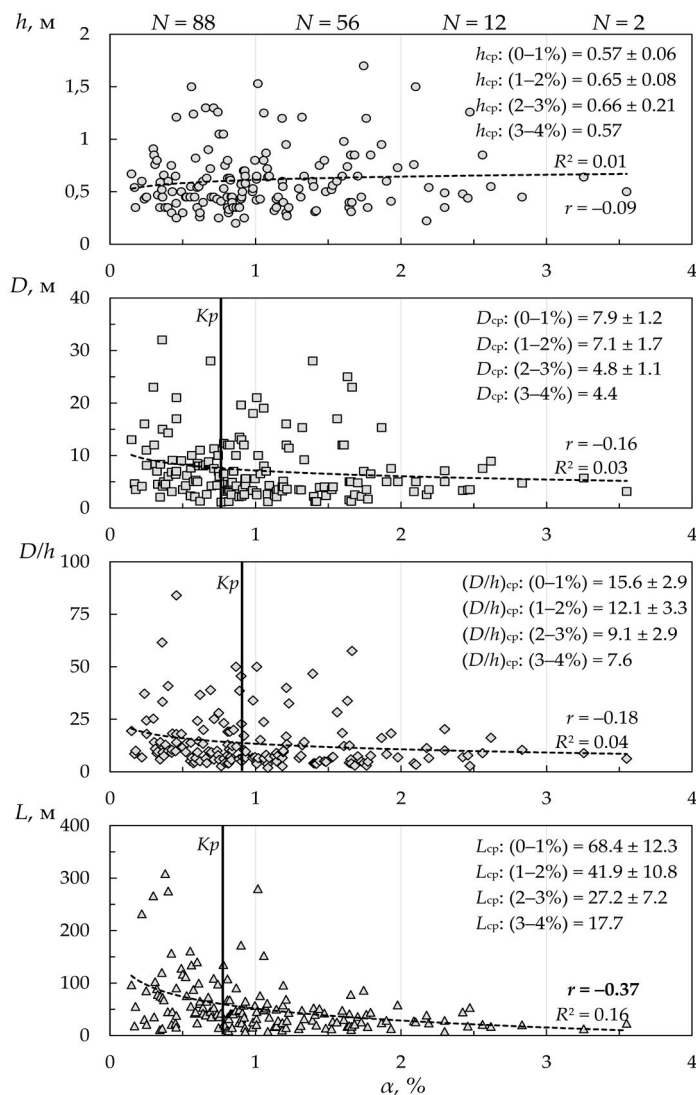


Рис. 3. Изменение некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов в изученных малых реках в зависимости от уклонов их русел. h и D — высота и длина бобровой плотины соответственно; D/h — их соотношение, L — длина пруда, α — уклон русла на участке размещения плотины и связанного с ней пруда. h_{cp} , D_{cp} , $(D/h)_{cp}$, L_{cp} — усредненные величины соответствующих характеристик по интервалам уклонов русел рек; N — общее количество бобровых плотин и связанных с ними прудов по интервалам уклонов русел рек; Kp — критическая величина уклонов русел малых рек (в %), согласно тесту Петтитта (табл. 5); R^2 — коэффициент аппроксимации логарифмического тренда (пунктирная линия); r — коэффициент линейной корреляции между соответствующими параметрами.

Fig. 3. Changes in some morphometric parameters of beaver dams and ponds in the studied small rivers depending on the slopes of their channels. h and D — height and length of beaver dam respectively, D/h — their ratio, L — length of beaver pond, α — riverbed slope in the sector with beaver dam and associated pond. h_{cp} , D_{cp} , $(D/h)_{cp}$, L_{cp} — average values of the corresponding parameters by riverbed slope intervals; N — total number of beaver dams and associated ponds by riverbed slope intervals; Kp is the critical value of the slopes of small riverbeds (in %), according to the Pettitt test (Table 5); R^2 is the approximation coefficient of the logarithmic trend (dashed line); r is the coefficient of linear correlation between the corresponding parameters.

уклонов русел малых рек. Значение уклонов русел, при котором происходит статистически значимое изменение индекса D/h , составляет 0.90%, согласно тесту Петитта ($p = 0.007$). Как и в случае с показателями h и D , альтернативный тест Буйшанда также не выявил критического значения уклонов русла для статистически значимой трансформации зависимости индекса D/h от уклона русла.

Помимо вышеуказанных, выявлен статистически значимый ($p < 0.0001$) тренд уменьшения длины бобровых прудов (L) с ростом уклонов речных русел. Критическое значение уклонов русел, при которых происходит статистически значимое изменение длины бобровых прудов, составляет 0.78% (по тестам Петтитта и Буйшанда; $p < 0.0001$).

Установлено косвенное влияние деятельности человека на морфометрические параметры бобровых плотин и прудов, которое выражается через изменение степени распаханности речных бассейнов изученных рек. В тех речных бассейнах, где распаханность почв сравнительно небольшая (33–35%), средняя высота бобровых плотин оказалась статистически значимо ниже (примерно на 20%), чем в речных бассейнах с распаханностью почв в 76–77% (табл. 6). При сравнении средних длин бобровых плотин и прудов статистически значимых различий не выявлено, хотя несколько большие (также примерно на 20%) длины прудов характерны для речных бассейнов с наибольшей выявленной распаханностью почв (табл. 6). Отметим, что в изменении индекса D/h по всем четырем изученным малым рекам фиксируется статистически значимое уменьшение в связи с ростом почвенной распаханности в их бассейнах.

Таблица 6. Изменения усредненных морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов на изученных малых реках в зависимости от степени распаханности почв их бассейнов

Table 6. Changes in average morphometric parameters of beaver dams and ponds in the studied small rivers depending on the plowing of the soils of their basins

Характеристики	Распаханность почв в бассейнах		p
	33–35% ¹	76–77% ²	
Высота плотины (h)	0.53 ± 0.04	0.66 ± 0.08	$p < 0.01$
Длина плотины (D)	7.7 ± 1.1	7.1 ± 1.5	$p > 0.05$
D/h	16.9 ± 3.1	11.8 ± 2.6	$p < 0.05$
Длина пруда (L)	48.9 ± 11.2	59.4 ± 12.5	$p > 0.05$

¹ 33% – Жилой ключ, 35% – Ягодная; ² 76% – Пьянка, 77% – Малая Ега; p – статистическая вероятность различия между средними величинами.

ОБСУЖДЕНИЕ

Представленные выше результаты показывают важную роль уклонов русел рек в размещении бобровых плотин и связанных с ними прудов. На исследованных реках лишь единичные бобровые постройки встречаются на уклонах русел более 3%, в то время как доминирующая часть (около 91%) этих объектов располагается на уклонах русел менее 2%. Примерно такая же доля (около 92%) бобровых сооружений на уклонах русел менее 2% нами ранее выявлена для 10 малых рек лесной и лесостепной зон Волго-Камского региона [19, 29]. Изменение уклона русла отражается как на общем количестве, так и на плотности и характере размещения бобро-

вых сооружений вдоль исследуемых рек. Ранее отмеченные величины средних плотностей бобровых плотин сопоставимы или несколько ниже таковых для малых рек Северной Америки — 7–10 ед./км [13, 23, 26]. В работе по лесной зоне провинции Онтарио (Канада) [30], к примеру, выявлены практически такие же уклоны рек наибольшего распространения бобровых строений — 1–4%.

Отмеченные выше изменения некоторых морфометрических характеристик бобровых плотин и прудов в зависимости от изменения уклонов русел малых рек вполне ожидаемы. На участках рек со сравнительно большими уклонами русла при формировании достаточно большого водоема, пригодного для жизни семьи бобров, необходимо строительство более высокой плотины, что в целом подтверждается тенденцией, хотя и статистически незначимой, к увеличению высоты плотин с увеличением уклонов рек. Скорее всего возведение высоких плотин в среднем и особенно верхнем течении малых рек ограничено уменьшением объемов древесного строительного материала в степной зоне. Ведь плотины состоят, как правило, из крупных стволов деревьев (до 20–30 см в диаметре; преимущественно осина, ива, тополь, береза и др.), их ветвей (рис. 4), обрезков сучьев (до 6 см в диаметре), листьев, травы (включая рогоз и тростник), щебня и гальки [21, 25], перемешанных с тонкодисперсным материалом.

В нижних течениях рек с наименьшими уклонами, где расходы воды и ширина водотоков, как правило, наибольшие, для строительства прудов требуются самые длинные плотины (часто с затоплением поймы реки). Этот вывод подтверждается статистически значимым увеличением длины плотин на малых реках с уклонами менее 1% (см. рис. 3), особенно при уклонах менее 0.75% (см. табл. 5). Выше по течению, по мере увеличения уклонов русла, длина плотин, как правило, уменьшается, что следует за сужением самого русла из-за его более глубокого вертикального врезания в коренные породы (особенно в средних течениях рек) (см. рис. 4).

Увеличение длины бобровых прудов при уменьшении уклонов русел также логично и имеет физическую основу. При прочих равных условиях, при одинаковой средней высоте бобровых плотин на более низких уклонах русла образуется большее по площади и длине водное зеркало пруда, чем на более высоких, согласно закону тригонометрии. Если и есть исключения, то они носят локальный характер.

Большие средние высоты бобровых плотин в бассейнах малых рек с высокой антропогенной освоенностью (распаханностью почв) связаны, на наш взгляд, с одной стороны, с поступлением в реки куда большего объема эрозионного материала с пахотных угодий, чем в реки с относительно слабораспаханными водосборами. Ведь материал, поступивший преимущественно с пашни, приводит к заиливанию прудов, и для повышения эффективности функционирования пруда бобры не только очищают заиленное русло внутри самого пруда [19], тем самым увеличивая его транспортирующую способность, но и наращивают высоту плотин. С другой стороны, гидрологические режимы малых рек с сильно распаханными бассейнами отличаются, при прочих равных условиях, большей внутригодовой неравномерностью стока воды по сравнению с аналогичными реками с малоосвоенными бассейнами. В таких реках сравнительно более высокие уровни воды в половодья и паводки, особенно в верхнем и среднем их течениях, в какой-то мере также способствуют созданию бобрами более высоких запруд.

В ходе полевых работ нами были также встречены эрозионные уступы (высотой до 1.5 м) в ранее накопленных отложениях бобровых прудов, занимавших не только

русло, но и прилегающую пойму (рис. 5). Они, скорее всего, являются следствием регрессивного размыва этих наносов, последовавшим после разрушения бобровой плотины ниже по течению. Примечательно, что такие процессы нами встречены в малых реках с сильно распаханными водосборами. Именно в этих условиях, с одной стороны, происходит наиболее интенсивное и быстрое заиливание речных прудов [12] и, с другой стороны, возникает необходимость бобрам менять дислокацию своего поселения при полном заиливании (седиментационной деградации) пруда. Этот вопрос требует дальнейшего и более детального изучения.



Рис. 4. Примеры бобровых плотин и связанных с ними прудов на изученных малых реках в: А – среднем течении р. Ягодная, Б – нижнем течении р. Жилой Ключ, В – среднем течении Малая Ега, Г – верхнем течении р. Пьянка.

Fig. 4. Examples of beaver dams and associated ponds in the studied small rivers in: A – the middle reaches of the Yagodnaya River, Б – the lower reaches of the Zhiloy Klyuch River, В – the middle reaches of the Malaya Yega River, and Г – the upper reaches of the Pyanka River.



Рис. 5. Эрозионные уступы в ранее сформированных отложениях бобровых прудов в пойменно-русловом комплексе долины реки Пьянка.

Fig. 5. Erosion benches (steps) in previously formed deposits of beaver ponds in the floodplain—channel complex of the Pyanka River valley.

ОГРАНИЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нижние 4.5 км течения реки Жилой Ключ не были обследованы относительно расположения и морфометрических характеристик бобровых сооружений из-за высокой заболоченности в этой части долины реки. На других участках изученных рек, характеризующихся меньшей заболоченностью, длины некоторых плотин могли быть определены с меньшей точностью.

В руслах рек иногда встречаются близко расположенные друг другу бобровые плотины: одна главная (выше по течению), вторая — вспомогательная (как правило, в нескольких метрах ниже главной), небольшой пруд которой предохраняет основную плотину от размыва при стоке воды через нее. В нашем исследовании такие вспомогательные плотины не учитывались.

На данном этапе исследования мы не проводили анализ влияния литолого-почвенной неоднородности между речными бассейнами на изучаемые морфометрические характеристики бобровых сооружений. Это обусловлено, прежде всего, сравнительно однородным составом четвертичных отложений и почв, слагающих поверхности изученных речных бассейнов.

Также не рассмотрены другие факторы, влияние которых на размещение и морфометрические характеристики бобровых сооружений очевидно (морфолого-морфометрические особенности русла и поймы, изменения стока воды вдоль рек, изменения видового состава и обилия прибрежной растительности, продолжительность расселения бобров по изученным рекам и т.д.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в работе результаты показывают значимую роль уклонов русел в распределении бобровых прудов и плотин в малых реках степной зоны Поволжья. На исследуемых реках практически все бобровые сооружения расположены на уклонах менее 3% (около 91% — на уклонах русел менее 2%); лишь единичные сооруже-

ния встречаются на уклонах русел более 3%. Наиболее высокая плотность определена для относительно короткой реки Ягодная — 12.9 ед./км, бассейн которой имеет наибольшую среднюю абсолютную высоту; наиболее низкая — 1.8 ед./км — для реки Жилой Ключ, наиболее длинной из обследованных рек, бассейн которой имеет одну из самых низких средних абсолютных высот.

По всем изученным рекам наблюдается слабая и статистически незначимая тенденция увеличения высоты бобровых плотин, а также статистически значимое уменьшение длины плотин, индекса D/h и длины бобровых прудов по мере роста уклонов русел рек. Причем критическими рубежами русловых уклонов, при которых происходят статистически значимые изменения в длине плотин, индексе D/h и длине бобровых прудов являются уклоны в 0.75%, 0.9% и 0.78% соответственно. Иными словами, интервал уклонов русел малых рек в степной зоне Поволжья в 0.75–0.9% можно предварительно рассматривать как важный топографический рубеж в изменениях морфометрических характеристик бобровых построений, созданных на них.

Наибольшая средняя высота бобровых плотин приурочена к наиболее сельскохозяйственно-освоенным речным бассейнам, сложенным с поверхности делювиальными и элювиальными суглинистыми отложениями. В качестве основной причины этого выдвигается косвенная антропогенная трансформация гидрологического режима таких рек через изменения природных ландшафтов в их бассейнах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Г. Шарифуллина и Т. Мансурова за помощь в проведении полевых работ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10087, <https://rscf.ru/project/22-77-10087/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Географический атлас Оренбургской области. Геопортал Русского географического общества. 2020. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/sobranie-kart-i-planov-iz-izdaniy-rgo/sovremennye-izdaniya-vypolnennyye-po-grantam-i-0> (дата обращения: 24.08.2024).
2. *Водоградецкий В. Е.* Антропогенные изменения стока малых рек. Л.: Гидрометеиздат. 1990. 175 с.
3. *Жарков И. В.* Итоги расселения речных бобров в СССР // Труды Воронежского государственного заповедника. Восстановление и рациональное использование запасов речного бобра в СССР. 1969. Вып. XVI. С. 10–51.
4. *Завьялов Н. А.* Влияние речного бобра на экосистемы малых рек. М.: Изд-во Наука, 2005. 186 с.
5. *Иванова Н. Н., Голосов В. Н., Ковальчук И. П.* Исследования малых рек Восточной Европы: подходы, результаты, проблемы, перспективы // Эрозионные и русловые процессы. 2005. № 4. С. 153–174.
6. *Кувалкин А. А., Бондаренко В. Л.* Экологически устойчивое управление природно-техническими системами бассейнов малых рек // Мелиорация и гидротехника. 2012. № 3. С. 166–174.
7. *Осинов В. В., Башинский И. В., Подшивалина В. Н.* О влиянии деятельности речного бобра — *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) на биоразнообразие экосистем малых рек лесостепной зоны // Поволжский экологический журнал. 2017. № 1. С. 69–83.

8. Учебно-краеведческий атлас Саратовской области. Геопортал Русского географического общества. 2013. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/sobranie-kart-i-planov-iz-izdaniy-rgo/sovremennye-izdaniya-vypolnennye-po-grantam-i-10> (дата обращения: 24.08.2024).
9. Численности основных видов охотничьих зверей. Портал Млекопитающие России. 2022. URL: <https://rusmam.ru/news/view?id=68> (дата обращения: 24.08.2024).
10. *Baker B. W., Hill E. P.* Beaver (*Castor canadensis*). In *Wild mammals of North America: biology, management, and conservation*. G.A. Feldhamer, B.C. Thompson, J.A. Chapman (Eds). Baltimore: Johns Hopkins University Press. 2003. P. 288–310.
11. *Bradbury G., Puttock A., Coxon G., Clarke S., Brazier R. E.* Testing a novel sonar-based approach for measuring water depth and monitoring sediment storage in beaver ponds // *River Res. Appl.* 2023. V. 39. № 2. P. 266–273.
12. *Burchsted D., Daniels M. D.* Classification of the alterations of beaver dams to headwater streams in northeastern Connecticut, USA // *Geomorphology*. 2014. V. 205. P. 36–50.
13. *Butler D. R., Malanson G. P.* The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams // *Geomorphology*. 2005. V. 71. № 1–2. P. 48–60.
14. *Catalán N., Herrero Ortega S., Gröntoft H., Hilmarsson T. G., Bertilsson S., Wu P., Levanoni O., Bishop K., Bravo, A. G.* Effects of beaver impoundments on dissolved organic matter quality and biodegradability in boreal riverine systems // *Hydrobiologia*. 2017. V. 793. P. 135–148.
15. *Čiuldienė D., Vigras E., Belova O., Aleinikovas M., Armolaitis K.* The effect of beaver dams on organic carbon, nutrients and methyl mercury distribution in impounded waterbodies // *Wildlife Biology*. 2020. № 3. P. 1–8.
16. *Demmer R., Beschta R. L.* Recent history (1988–2004) of beaver dams along Bridge Creek in central Oregon // *Northwest Science*. 2008. V. 82. № 4. P. 309–318.
17. *Green K. C., Westbrook C. J.* Changes in riparian area structure, channel hydraulics, and sediment yield following loss of beaver dams // *BC Journal of Ecosystems and Management*. 2009. № 10. P. 68–79.
18. *Graham H. A., Puttock A., Chant J., Elliott M., Campbell-Palmer R., Anderson K., Brazier R. E.* Monitoring, modelling and managing beaver (*Castor fiber*) populations in the River Otter catchment, Great Britain // *Ecological Solutions and Evidence*. 2022. V. 3, № 3. e12168.
19. *Gusarov A. V., Sharifullin A. G., Beylich A. A., Lisetskii F. N.* Features of the Distribution of Beaver Dams and Ponds along Small Rivers: The Volga–Kama Region, European Russia // *Hydrology*. 2024. № 11. 53. <https://doi.org/10.3390/hydrology11040053>
20. *Hartman G., Törnlov S.* Influence of Watercourse Depth and Width on Dam-Building Behaviour by Eurasian Beaver (*Castor Fiber*) // *J Zool.* 2006. V. 268. P. 127–131.
21. *Janiszewski P., Gugolek A., Łobanowska A.* Use of shoreline vegetation by the European beaver (*Castor fiber* L.) // *Acta Scientiarum Polonorum*. 2006. V. 5. № 2. P. 63–70.
22. *Levine R., Meyer G. A.* Beaver dams and channel sediment dynamics on Odell Creek, Centennial Valley, Montana, USA // *Geomorphology*. 2014. V. 205. P. 51–64.
23. *Mccomb W. C., Sedell J. R., Buchholz T. D.* Dam-site selection by beavers in an eastern Oregon basin // *Great Basin Nat.* 1990. V. 50. P. 273–281.
24. *McCullough M. C.; Harper J. L.; Eisenhauer D. E.; Dosskey M. G.* Channel Aggradation by Beaver Dams on a Small Agricultural Stream in Eastern Nebraska. In *Self-Sustaining Solutions for Streams, Wetlands, and Watersheds*, 12–15 September 2004. American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA, 2005. P. 364–369.
25. *Müller G., Watling J.* The engineering in beaver dams. In *Constantinescu, G., M. Garcia & D. Hanes (eds), A Balkema book, River flow 2016: Proceedings of the International Conference on*

Fluvial Hydraulics (River Flow 2016). St. Louis, USA. 11–14 July 2016 (P. 2094–2099). CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781315644479-326>

26. Naiman R. J.; Melillo J. M.; Hobbie J. E. Ecosystem alteration of boreal forest streams by beaver (*Castor canadensis*) // Ecology. 1986. V. 67, P. 1254–1269.

27. Pollock M. M., Beechie T. J., Jordan C. E. Geomorphic changes upstream of beaver dams in Bridge Creek, an incised stream channel in the interior Columbia River basin, eastern Oregon // Earth Surf. Process. Landf. 2007. V. 32. № 8. P. 1174–1185.

28. Pollock M. M., Beechie T. J., Wheaton J. M., Jordan C. E., Bouwes, N., Weber N., Volk C. Using Beaver Dams to Restore Incised Stream Ecosystems // Bioscience. 2014. V. 64. P. 279–290.

29. Sharifullin A. G., Gusarov A. V., Lavrova O. A., Beylich A. A. Channel gradient as a factor in the distribution of beaver dams and ponds on small rivers: A case study in the northern extremity of the Volga Upland, the East European Plain // Water. 2023. V. 15. № 13. 2491.

30. Thompson I. D. Habitat Needs of Furbearers in Relation to Logging in Boreal Ontario // For. Chron. 1988, № 64, P. 251–261.

31. Westbrook C. J., Cooper D. J., Baker B. W. Beaver assisted river valley formation // River Res. Appl. 2011. V. 27. № 2. P. 247–256.

Features of Distribution and Morphometric Characteristics of Beaver Dams and Ponds in Small Rivers of the Uplands of the Steppe Zone of the Volga Region, European Russia

A. G. Sharifullin*, A. V. Gusarov**

Kazan Federal University, Kazan, Russia

*E-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

**E-mail: AVGusarov@mail.ru

Abstract — Beavers, as mammals that have a unique ability to transform watercourses and their floodplain-channel complexes by building dams and associated ponds, intensively develop streams and, especially, small rivers, as well as small branches of larger rivers in Eastern Europe. During a geodetic survey using GNSS equipment and a field survey of four small rivers in the uplands of the steppe zone of the Volga region, the features of the distribution of beaver dams and associated ponds were identified, and some of their morphometric characteristics (height and length of dams and their ratio; length of ponds) were determined. An analysis of the longitudinal profiles of these rivers showed the significant role of slopes (gradients) in the distribution of these beaver structures: about 90% of them are located on riverbed slopes of less than 2%, including 56% of less than 1%. A weak and statistically insignificant trend of increasing height of beaver dams, as well as a statistically significant trend of decreasing length of beaver dams and associated ponds as riverbed slopes increase, was identified. The highest average heights of beaver dams are confined to those small rivers whose basin soils are comparatively heavily plowed (mainly clayey-loamy Chernozems).

Keywords: *Castor fiber* L., GNSS receiver, riverbed, floodplain, longitudinal river profile, East European Plain

REFERENCES

1. Geograficheskij atlas Orenburgskoj oblasti. Geoportal Russkogo geograficheskogo obshhestva. 2020. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/sobranie-kart-i-planov-iz-izdaniy-rgo/sovremennye-izdaniya-vypolnennye-po-grantam-i-0>. (data obrashheniya: 24.08.2024).

2. Vodogreckij V. E. Antropogennye izmenenie stoka malyx rek. L.: Gidrometeoizdat. 1990. 175 s.
3. Zharkov I. V. Itogi rasseleniya rechnyx bobrov v SSSR // Trudy Voronezhskogo gosudarstvennogo zapovednika. Vosstanovlenie i racional'noe ispol'zovanie zapasov rechnogo bobrov v SSSR. 1969. Vyp. XVI. S.10–51.
4. Zav'yalov N. A. Vliyanie rechnogo bobra na e'kosistemy malyx rek. M.: Izd-vo Nauka, 2005. 186 s.
5. Ivanova N. N., Golosov V. N., Koval'chuk I. P. Issledovaniya malyx rek Vostochnoj Evropy: podxody, rezul'taty, problemy, perspektivy // E'rozionnye i ruslovyie processy. 2005. № 4. S. 153–174.
6. Kuvalkin A. A., Bondarenko V. L. E'kologicheski ustojchivoe upravlenie prirodno-tekhnicheskimi sistemami bassejnov malyx rek // Melioraciya i gidrotexnika. 2012. № 3. S. 166–174.
7. Osipov V. V., Bashinsky I. V., Podshivalina V. N. On the *Castor fiber* (Castoridae, Mammalia) activity influence on the ecosystem biodiversity of small rivers in the forest-steppe zone // Povolzhskiy Journal of Ecology. 2017. № 1. P. 69–83.
8. Uchebno-kraevedcheskij atlas Saratovskoj oblasti. Geoportal Russkogo geograficheskogo obshhestva. 2013. URL: <https://geoportal.rgo.ru/catalog/sobranie-kart-i-planov-iz-izdaniy-rgo/sovremennye-izdaniya-vypolnennye-po-grantam-i-10> (data obrashheniya: 24.08.2024).
9. Chislennosti osnovnyx vidov oxotnich'ix zverej. Portal Mlekopitayushhie Rossii. 2022. URL: <https://rusmam.ru/news/view?id=68> (data obrashheniya: 24.08.2024).
10. Baker B. W., Hill E. P. Beaver (*Castor canadensis*). In Wild mammals of North America: biology, management, and conservation. G. A. Feldhamer, B. C. Thompson, J. A. Chapman (Eds). Baltimore: Johns Hopkins University Press. 2003. P. 288–310.
11. Bradbury G., Puttock A., Coxon G., Clarke S., Brazier R. E. Testing a novel sonar-based approach for measuring water depth and monitoring sediment storage in beaver ponds // River Res. Appl. 2023. V. 39. № 2. P. 266–273.
12. Burchsted D., Daniels M. D. Classification of the alterations of beaver dams to headwater streams in northeastern Connecticut, USA // Geomorphology. 2014. V.205. P. 36–50.
13. Butler D. R., Malanson G. P. The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams // Geomorphology. 2005. V. 71. № 1–2. P. 48–60.
14. Catalán N., Herrero Ortega S., Gröntoft H., Hilmarsson T. G., Bertilsson S., Wu P., Levanoni O., Bishop K., Bravo, A. G. Effects of beaver impoundments on dissolved organic matter quality and biodegradability in boreal riverine systems // Hydrobiologia. 2017. V. 793. P. 135–148.
15. Čiuldišenė D., Vigras E., Belova O., Aleinikovas M., Armolaitis K. The effect of beaver dams on organic carbon, nutrients and methyl mercury distribution in impounded waterbodies // Wildlife Biology. 2020. № 3. P. 1–8.
16. Demmer R., Beschta R. L. Recent history (1988–2004) of beaver dams along Bridge Creek in central Oregon // Northwest Science. 2008. V. 82. № 4. P. 309–318.
17. Green K. C., Westbrook C. J. Changes in riparian area structure, channel hydraulics, and sediment yield following loss of beaver dams // BC Journal of Ecosystems and Management. 2009. № 10. P. 68–79.
18. Graham H. A., Puttock A., Chant J., Elliott M., Campbell-Palmer R., Anderson K., Brazier R. E. Monitoring, modelling and managing beaver (*Castor fiber*) populations in the River Otter catchment, Great Britain // Ecological Solutions and Evidence. 2022. V. 3, № 3. e12168.
19. Gusarov A. V., Sharifullin A. G., Beylich A. A., Lisetskii F. N. Features of the Distribution of Beaver Dams and Ponds along Small Rivers: The Volga-Kama Region, European Russia // Hydrology. 2024. № 11. 53. <https://doi.org/10.3390/hydrology11040053>
20. Hartman G.; Törnlov S. Influence of Watercourse Depth and Width on Dam-Building Behaviour by Eurasian Beaver (*Castor Fiber*) // J Zool. 2006. V. 268. P. 127–131.

21. Janiszewski P., Gugolek A., Łobanowska A. Use of shoreline vegetation by the European beaver (*Castor fiber* L.) // *Acta Scientiarum Polonorum*. 2006. V. 5. № 2. P. 63–70.
22. Levine R., Meyer G.A. Beaver dams and channel sediment dynamics on Odell Creek, Centennial Valley, Montana, USA // *Geomorphology*. 2014. V. 205. P. 51–64.
23. McComb W.C., Sedell J.R., Buchholz T.D. Dam-site selection by beavers in an eastern Oregon basin // *Great Basin Nat.* 1990. V. 50. P. 273–281.
24. McCullough M.C.; Harper J.L.; Eisenhauer D.E.; Dosskey M.G. Channel Aggradation by Beaver Dams on a Small Agricultural Stream in Eastern Nebraska. In *Self-Sustaining Solutions for Streams, Wetlands, and Watersheds*, 12–15 September 2004. American Society of Agricultural and Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA, 2005. P. 364–369.
25. Müller G., Watling J. The engineering in beaver dams. In Constantinescu, G., M. Garcia & D. Hanes (eds), *A Balkema book, River flow 2016: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2016)*. St. Louis, USA. 11–14 July 2016 (P. 2094–2099). CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781315644479-326>
26. Naiman R.J.; Melillo J.M.; Hobbie J.E. Ecosystem alteration of boreal forest streams by beaver (*Castor canadensis*) // *Ecology*. 1986. V. 67, P. 1254–1269.
27. Pollock M.M., Beechie T.J., Jordan C.E. Geomorphic changes upstream of beaver dams in Bridge Creek, an incised stream channel in the interior Columbia River basin, eastern Oregon // *Earth Surf. Process. Landf.* 2007. V. 32. № 8. P. 1174–1185.
28. Pollock M.M., Beechie T.J., Wheaton J.M., Jordan C.E., Bouwes N., Weber N., Volk C. Using Beaver Dams to Restore Incised Stream Ecosystems // *Bioscience*. 2014. V. 64. P. 279–290.
29. Sharifullin A.G., Gusarov A.V., Lavrova O.A., Beylich A.A. Channel gradient as a factor in the distribution of beaver dams and ponds on small rivers: A case study in the northern extremity of the Volga Upland, the East European Plain // *Water*. 2023. V. 15. № 13. 2491.
30. Thompson I.D. Habitat Needs of Furbearers in Relation to Logging in Boreal Ontario // *For. Chron.* 1988, № 64, P. 251–261.
31. Westbrook C.J., Cooper D.J., Baker B.W. Beaver assisted river valley formation // *River Res. Appl.* 2011. V. 27. № 2. P. 247–256.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шарифуллин Айдар Гамисович

Кандидат географических наук, доцент кафедры ландшафтной экологии, Институт экологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.

e-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

Sharifullin Aidar Gamisovich

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Landscape Ecology of the Institute of Environmental Sciences, Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Russia, Kazan, Kremlyovskaya St., 18.

e-mail: AGSharifullin@kpfu.ru

Гусаров Артем Викторович

Кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник НИЦ “Цифровая Земля”, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.

e-mail: avgusarov@mail.ru

Gusarov Artyom Viktorovich

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Senior researcher, Scientific research center “Digital Earth” of the Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Russia, Kazan, Kremlyovskaya St., 18.
e-mail: avgusarov@mail.ru