

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ – АЛТАЙСКОЕ КРАЕВОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
"РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО"

**ИЗВЕСТИЯ АЛТАЙСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА**
(ИЗВЕСТИЯ АО РГО)

Журнал
Март 2026
Основан в 1961 году

ISSN 2410-1192
№ 1 (80)
Выходит 4 раза в год

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – Пузанов А.В., д.б.н., проф., г. Барнаул

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Безматерных Д.М., д.б.н., доц., г. Барнаул Папина Т.С., д.х.н., доц., г. Барнаул

ЗАВЕДУЮЩИЙ РЕДАКЦИЕЙ – Архипова И.В., к.г.н., г. Барнаул

ЧЛЕНЫ СОВЕТА:

Андроханов В.А., д.б.н., г. Новосибирск
Богуславский А.Е., д.г.-м.н., г. Новосибирск
Веснина Л.В., д.б.н., проф., г. Барнаул
Винокуров Ю.И., д.г.н., проф., г. Барнаул
Гармаев Е.Ж., д.г.н., проф., акад. РАН, г. Улан-Удэ
Гусев А.И., д.г.-м.н., проф., г. Бийск
Гутак Я.М., д.г.-м.н., проф., г. Новокузнецк
Двинских С.А., д.г.н., проф., г. Пермь
Дунец А.Н., д.г.н., доц., г. Барнаул
Ельчиной О.А., д.с.-х.н., доц., г. Горно-Алтайск
Ермолаева Н.И., д.б.н., г. Новосибирск
Зиновьев А.Т., д.т.н., доц., г. Барнаул
Золотов Д.В., к.б.н., г. Барнаул
Инишева Л.И., д.с.-х.н., проф., чл.-корр., г. Томск
Комарова Л.А., д.б.н., проф., г. Бийск

Кочуров Б.И., д.г.н., проф., г. Москва
Куrolап С.А., д.г.н., проф., г. Воронеж
Мазуров М.П., д.г.-м.н., проф., г. Новосибирск
Платонова С.Г., к.г.-м.н., доц., г. Барнаул
Рудский В.В., д.г.н., проф., Московская обл.
Рыбкина И.Д., д.г.н., доц., г. Барнаул
Савичев О.Г., д.г.н., проф., г. Томск
Севастьянов В.В., д.г.н., проф., г. Томск
Сенников Н.В., д.г.-м.н., проф., г. Новосибирск
Сухова М.Г., д.г.н., доц., г. Горно-Алтайск
Сысо А.И., д.б.н., г. Новосибирск
Чернышов А.И., д.г.-м.н., проф., г. Томск
Чибилев А.А., д.г.н., проф., акад. РАН, г. Оренбург
Ядренкина Е.Н., д.б.н., г. Новосибирск
Яныгина Л.В., д.б.н., доц., г. Барнаул

Технический редактор – Вдовина О.Н., к.б.н.

Адрес издателя и редакции: 656038 Алтайский край, Барнаул, ул. Молодежная, 1, офис 526.
Тел: (385-2) 364091, (385-2) 666507, факс (385-2) 240396, bulletin@rgo-altay.ru,
<http://rgo-journal.ru>, <http://vk.com/rgojournal>, <http://t.me/rgojournal>
Регистрационный номер СМИ ПИ № ТУ22-00790 от 31.08.2021.

Подписной индекс в каталоге Роспечати 95004

© Известия Алтайского отделения Русского географического общества, 2026
г. Барнаул – 2026

FOUNDER AND PUBLISHER – ALTAY REGIONAL BRANCH
RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

**BULLETIN OF THE ALTAY BRANCH
OF THE RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY**
(BULLETIN AB RGS)

[IZVESTIÂ ALTAJSKOGO OTDELENIÂ RUSSKOGO GEOGRAFIČESKOGO OBŠESTVA
(IZVESTIÂ AO RGO)]

Journal
March, 2026
Founded in 1961

ISSN 2410-1192
No 1 (80)
4 issues per year

EDITORIAL BOARD

EDITORS-IN-CHIEF– DrSc, Prof. Alexandr V. Puzanov (Barnaul, Russia)

DEPUTY CHIEF EDITORS:

DrSc, Assoc. Prof. Dmitry M. Bezmaternyh (Barnaul, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. Tat'yana S. Papina (Barnaul, Russia)

MANAGING EDITOR – PhD Irina V. Arkhipova (Barnaul, Russia)

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

DrSc V.A. Androkhanov (Novosibirsk, Russia)

DrSc A.E. Boguslavsky (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Prof. A.I. Chernyshov (Tomsk, Russia)

Acad. RAS, DrSc, Prof. A.A. Chibilyov (Orenburg, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. A.N. Dunets (Barnaul, Russia)

DrSc, Prof. S.A. Dvinskikh (Perm, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. O.A. Elchinina (Gorno-Altaysk, Russia)

DrSc N.I. Ermolaeva (Novosibirsk, Russia)

Acad. RAS, DrSc, Prof. E.Zh. Garmaev (Ulan-Ude, Russia)

DrSc, Prof. A.I. Gusev (Biysk, Russia)

DrSc, Prof. Ya.M. Gutak (Novokuznetsk, Russia)

C.M. RAS, DrSc, Prof. L.I. Inisheva (Tomsk, Russia)

DrSc, Prof. L.A. Komarova (Biysk, Russia)

DrSc, Prof. B.I. Kochurov (Moscow, Russia)

DrSc, Prof. M.P. Mazurov (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Prof. S.A. Kurolap (Voronezh, Russia)

PhD, Assoc. Prof. S.G. Platonova (Barnaul, Russia)

DrSc, Prof. V.V. Rudsky (Moscow region, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. I.D. Rybkina (Barnaul, Russia)

DrSc, Prof. O.G. Savichev (Tomsk, Russia)

DrSc, Prof. N.V. Sennikov (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Prof. V.V. Sevastyanov (Tomsk, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. M.G. Sukhova (Gorno-Altaysk, Russia)

DrSc A.I. Syso (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Prof. L.V. Vesnina (Barnaul, Russia)

DrSc, Prof. Yu.I. Vinokurov (Barnaul, Russia)

DrSc E.N. Yadrenkina (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. L.V. Yanygina (Barnaul, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. A.T. Zinoviev (Barnaul, Russia)

PhD D.V. Zolotov (Barnaul, Russia)

Technical editor – PhD Olga N. Vdovina

Address for correspondence: 1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038, Altai region, Russia

Tel: +7(385-2) 364091, 666507, Fax: +7(385-2) 240396, bulletin@rgo-altay.ru,

<http://rgo-journal.ru>, <http://vk.com/rgojournal>, <http://t.me/rgojournal>

Certificate of mass media registration of Russian Federation III No TY22-00790 from 31.08.2021

Subscription index in «Rospechat» catalogue 95004

© Bulletin of the Altay branch of the Russian Geographical society, 2026

Barnaul – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

РАЗДЕЛ 1. ГЕОЭКОЛОГИЯ

Носкова О.В., Блянкиштейн О.Н. ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ТЫВЕ..... 5

Савенко К.С., Ситникова В.А., Любимов Р.В., Кивацкая А.В., Сушенцова М.В. ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ КАРАКОЛЬСКИХ ОЗЁР (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)..... 19

РАЗДЕЛ 2. ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ГИДРОХИМИЯ

Акулова О.Б., Букатый В.И., Кириллов В.В., Шипунов П.А., Парадосский В.Л. ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДЫ И СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА НА УЧАСТКЕ ВЕРХНЕЙ ОБИ В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ..... 38

РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЯ

Веснина Л.В., Безматерных Д.М., Лассый М.В., Веснин Ю.А. ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ЖАБРОНОГИХ РАЧКОВ *ARTEMIA PARTHENOGENETICA* И *ARTEMIA TIBETIANA* В ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕРАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ..... 55

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДИНАМИКА ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ..... 73

CONTENTS

SCIENTIFIC REPORTS

SECTION 1. GEOECOLOGY

- Noskova O.V., Blyankinshtein O.N.* PRELIMINARY ANALYSIS OF THE TERRITORY FOR DESIGNING AN ETHNO-CULTURAL TOURIST FACILITY IN TUVA..... 5
- Savenko K.S., Sitnikova V.A., Lyubimov R.V., Kivatskaya A.V., Sushentsova M.V.* ECOLOGICAL-BIOGEOCHEMICAL STATE OF SOIL AND VEGETATION COVER IN THE RECREATIONAL ZONE OF KARAKOL LAKES (REPUBLIC OF ALTAI)..... 19

SECTION 2. HYDROLOGY OF LAND, WATER RESOURCES, HYDROCHEMISTRY

- Akulova O.B., Bukaty V.I., Kirillov V.V., Shipunov P.A., Paradossky V.L.* OPTICAL CHARACTERISTICS OF WATER AND CHLOROPHYLL CONTENT IN THE UPPER OB AREA DURING THE OPEN WATER PERIOD..... 38

SECTION 3. ECOLOGY

- Vesnina L.V., Bezmaternyh D.M., Lassyj M.V., Vesnin Ju. A.* INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE BRANCHIOPOD CRUSTACEAN *ARTEMIA PARTHENOGENETICA* AND *ARTEMIA TIBETIANA* IN HYPERSALINE LAKES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA..... 55
- Zarubina E. Yu., Sokolova M.I.* CURRENT STATE AND DYNAMICS OF HIGHER AQUATIC VEGETATION IN LAKE TELETSKOYE UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACT..... 73

Раздел 1

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Section 1

GEOECOLOGY

УДК: 721.021.1(338.484)

**ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ
ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ТЫВЕ**

О.В. Носкова, О.Н. Блянкинштейн

Сибирский федеральный университет, Красноярск,

E-mail: olganoskova.architect@yandex.ru, oblyankinshtein@sfu-kras.ru

Статья посвящена предварительному анализу территории Тере-Хольского кожууна в Республике Тыва для целей проектирования этнокультурного туристического комплекса. В ходе исследования методами SWOT-анализа и геоинформационного картографирования выявлены сильные стороны территории, включая уникальное историко-культурное наследие (крепость Пор-Бажын) и живописные природные объекты, а также серьёзные угрозы, связанные с суровыми климатическими условиями, многолетнемерзлыми породами и удалённостью от инфраструктуры. Показано, что выбранная площадка обладает стратегическими преимуществами и служит идеальным туристическим хабом благодаря своему рельефу и центральному расположению относительно ключевых достопримечательностей. Выявлено, что потенциал проекта выше, чем вероятность неудачи, при условии компетентного проектирования и правильного строительства туристического комплекса, направленных на минимизацию антропогенной нагрузки на хрупкую экосистему региона.

Ключевые слова: этнокультурный туристический комплекс; SWOT-анализ; Республика Тыва; Тере-Хольский кожуун; крепость Пор-Бажын.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18001

Дата поступления: 2.12.2025. Принята к печати: 5.02.2026

Туризм является одной из ключевых отраслей мировой экономики, внося существенный вклад в социально-экономическое развитие стран и регионов [Арсланова, 2016]. В последние годы наблюдается растущий спрос со стороны путешественников на нестандартные и аутентичные маршруты, позволяющие глубже погрузиться в культурное наследие, историю и традиции разных народов. Именно этот тренд обусловил стремительный рост по-

пулярности культурного туризма и, в частности, этнографического. Несмотря на то, что данный вид услуг относительно молод и только в последние десятилетия стал выделяться в самостоятельное направление [Никонова, 2022], его туристическая инфраструктура активно развивается, хотя и сталкивается с многочисленными трудностями. Одной из главных проблем является недостаток гостиниц и других удобных мест для проживания, которые бы соот-

ветствовали ожиданиям современных путешественников [Сундова, 2023]. Многие этнокультурные туристические комплексы предлагают только музейные услуги, не предоставляя туристам возможность проживания. Это, в свою очередь, существенно сдерживает потенциал развития туристической отрасли. В контексте усиления глобальных экологических проблем, таких как изменение климата, утрата биоразнообразия и загрязнение окружающей среды, развитие туризма требует особого подхода, особенно на уникальных и хрупких в экологическом отношении территориях. Этнографический туризм, будучи нишевым, несет в себе не только финансовую выгоду, но и высокую ответственность. Его ключевой задачей, помимо реализации экономических интересов принимающей стороны и удовлетворения духовных потребностей туристов, становится сохранение хрупкого экологического равновесия и культурной самобытности местных сообществ [Никитина, 2022]. Очень важно вести проектирование этнокультурного туристического комплекса с учетом всех аспектов, так как непродуманное строительство, повышенная антропогенная нагрузка, несанкционированные свалки и чрезмерное потребление ресурсов могут нанести непоправимый вред природным экосистемам. А техническая и экономическая необоснованность проекта ведет к финансовым потерям, низкой окупаемости инвестиций и, в конечном счете, к заброшенности и деградации как самого комплекса, так и прилегающей территории. Поэтому важнейшее значение имеет подготовительное исследование местности. Целью данной работы является

предварительный анализ территории Тере-Хольского кожууна Республики Тыва для оценки потенциала и рисков при строительстве этнокультурного туристического объекта на этапе создания архитектурного проекта.

Материалы и методы

В качестве туристической дестинации была выбрана Республика Тыва, расположенная в самом центре Азии, в частности, Тере-Хольский кожуун (рис. 1). Регион обладает огромным туристическим потенциалом для развития рекреационного, познавательного, лечебного и экстремального видов туризма. Однако в силу ментальной и географической обособленности Тывы [Мадюкова, 2018] наиболее перспективным и предпочтительным видом для этой местности является этнокультурный туризм [Малышева, 2020].

Научная новизна исследования заключается в комплексном применении и адаптации классического SWOT-анализа и геоинформационного картографирования (ГИС) для задач предпроектного анализа территории в экстремальных природно-климатических и социально-культурных условиях Республики Тыва. Такой интегративный подход позволяет трансформировать абстрактные данные о сильных и слабых сторонах, возможностях и угрозах в конкретные пространственно-привязанные архитектурно-планировочные решения, что особенно критично для проектирования на хрупких экосистемах с многолетне-мёрзлыми породами.

SWOT-анализ является универсальным инструментом для оценки ситуации [Гри-

шина, 2009]. Его можно эффективно применять для разработки конкурентоспособной и устойчивой стратегии развития архитектурного проектирования. SWOT-анализ служит мостом между анализом территории и конкретным проектом, превращая каждую выявленную характеристику местности в осмысленное проектное решение, направленное на создание устойчивого, аутентичного и экономически жизнеспособного объекта [Malec, 2025]. SWOT-анализ предполагает создание матрицы, в ячейки которой вносятся данные о сильных (*strengths*) и слабых (*weaknesses*) сторонах, а также о возможностях (*opportunities*) и угрозах (*threats*). Для формирования максимально полной и объективной SWOT-матрицы были собраны данные из широкого круга источников, включая обзор научной литературы, публикации в СМИ и интернет-ресурсах, отзывы туристов и материалы краеведческого характера.

Для визуализации провели построение

ситуационного плана территории исследования с помощью программного продукта QGIS. ГИС-картографирование использовали не только для наглядного представления, но и как аналитический инструмент для верификации данных SWOT-анализа, что повышает обоснованность проектных предложений.

Результаты и обсуждение

Тыва привлекательна как богатым историко-культурным наследием, так и сохранившейся этнической самобытностью. Здесь можно увидеть традиционные жилища кочевников – юрты, насладиться национальной кухней, мясными блюдами – согажа, кара мун, изиг-хан – и молочными продуктами – быштак, тарак, курут. Местные народные промыслы, искусство и ремесла, включая горловое пение хоомей, борьбу хуреш, конные скачки и стрельбу из лука, добавляют региону особый колорит [Вайнштейн, 1991; Кенин-Лопсан, 2006; Сузукей, 2007].



Рис. 1. Карта-схема района исследования
Fig. 1. Schematic map of the study area

А уникальное сочетание шаманизма и буддизма делает Тыву еще более притягательной и интересной для исследователей и путешественников.

Особое место в туристической привлекательности Тывы занимает Тере-Хольский кожуун, самый труднодоступный и загадочный, славящийся своими природными и историческими достопримечательностями. Главная жемчужина этого района – крепость Пор-Бажын, что в переводе с тувинского означает «глиняный дом» [Вайнштейн, 1964]. Данное фортификационное сооружение является памятником культуры федерального значения. До сих пор ученые не могут определить с какой целью был построен этот объект [Тулуш, 2019], что придает ему особую мистическую атмосферу и вдохновляет на создание множества легенд. Крепость, расположена на острове посреди озера Тере-Холь, которое, в свою очередь, является памятником природы республиканского значения,

входящим в состав государственного природного парка «Пор-Бажын». Тере-Холь пресноводное высокогорное озеро термокарстового происхождения, расположенное на высоте около 1300 метров над уровнем моря. Вода в нем чистая и прозрачная, но кажется зеленоватой из-за обилия водных растений (макрофитов), покрывающих илистое дно (рис. 2).

Озеро мелкое, максимальная глубина составляет 1.9 м [Панин и др., 2012]. Озеро, как и древняя крепость окутана тайнами и легендам [Разумова и др., 2015]. Оба памятника представляют собой неразрывный комплекс, где уникальный ландшафт подчеркивает историческую ценность крепости, а ее присутствие, в свою очередь, обогащает природную среду культурным смыслом. Здесь, в этой дикой, нетронутой цивилизацией местности, можно наблюдать большое разнообразие представителей флоры и фауны, включая редкие виды [Красная книга..., 2019].

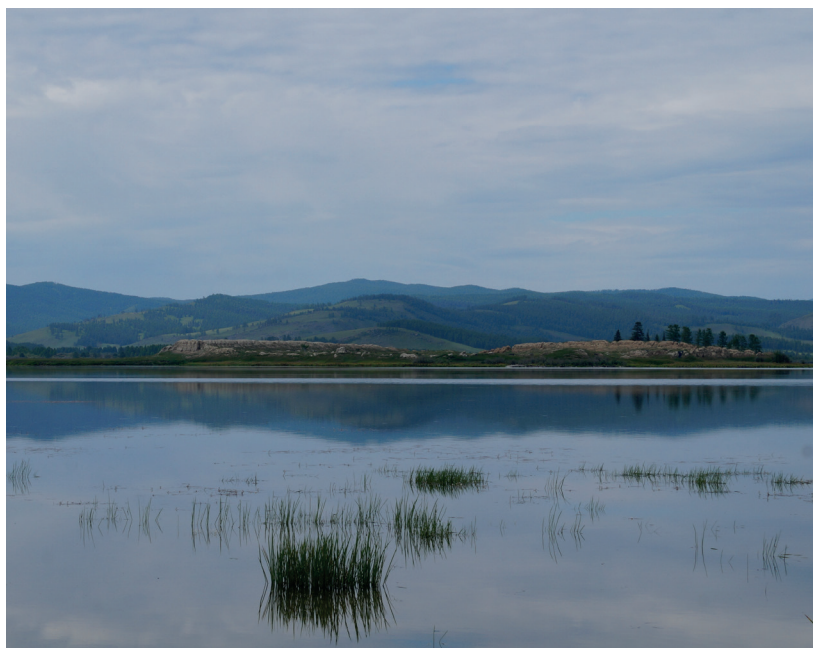


Рис. 2. Озеро Тере-холь с видом на руины крепости Пор-Бажын. Фото: Носковой Ольги
Fig. 2. Lake Tere-khol with a view of the ruins of the fortress of Por-Bazhyn. Photo: Olga Noskova

Посещение крепости Пор-Бажын – увлекательное приключение, требующее подготовки. Несмотря на труднодоступное расположение в горах Западного Саяна, туристическая популярность этого места неуклонно растёт и многие туристические компании предоставляют свои разнообразные предложения [Путеводитель..., 2025; Tuvan Trip, 2025]. Интересны и водные маршруты, такие, как сплавы по реке Балыктыг-Хем от села Кунгуртук [Клуб..., 2025].

На исследуемой территории можно продвигать несколько видов туризма: этнографический, экологический, познавательный, экстремальный, гастрономический и лечебно-оздоровительный. Это соотносится с Постановлением № 111 от 07.05.2019 администрации Тере-Хольского кожууна Республики Тыва [Постановление..., 2019], которое утверждает муниципальную программу «Развитие туризма в Тере-Хольском кожууне».

Хотя основой развития туристического комплекса около крепости Пор-Бажын, несомненно, является культурный туризм и его основные виды: исторический, этнографический и событийный [Мамонтов, 2016]. Например, фестиваль народных традиций «Пор-Бажын – зов предков» на озере Тере-Холь служит ещё одной точкой притяжения туристов. Он привлекает множество людей, интересующихся культурой и историей региона [Министерство..., 2025].

Тере-Хольский кожуун славится не только своими природными красотами и возможностью погрузиться в особенности местной культуры, но и большим количеством целебных источников, таких как: Аржаан Бояй – источник с холодными се-

роводородными водами, помогает при заболеваниях ЖКТ, опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистых и глазных болезнях, гайморите и остеохондрозе; Аржаан Тарыс – источник с термальными сероводородными водами (до 48°C), полезен при заболеваниях кровообращения, нервной системы, урологических, гинекологических, кожных и эндокринных болезнях, а также нарушениях обмена веществ; Аржаан Бошъ-Тей – используется при заболеваниях ЖКТ, нервной, сердечно-сосудистой и кожных систем [АржаанЛаб, 2025]. Всё это является сильными сторонами данного кожууна и прекрасными возможностями для развития туризма на этой территории.

По природно-климатическим условиям и отдаленности от развитых экономических центров кожуун приравнен к районам Крайнего Севера. А Шынаанский сумон Тере-Хольского кожууна административным центром и единственным населённым пунктом, которого является село Кунгуртук, отнесен к районам Крайнего Севера [Постановление правительства..., 2021]. Климат резко континентальный, характеризуется низкими температурами и продолжительным холодным периодом. Средняя температура зимой, за последние пять лет, составила -18°C, с максимальными значениями -45°C. Снежный покров в среднем достигает около 30 см. Летом средняя температура +15°C, с максимальными значениями +31.2°C. Амплитуда абсолютных температур воздуха составляет в среднем 76.2°C. Наибольший ветреный период наблюдается весной, скорость ветра нередко достигает 14–20 метров в секунду [Расписание погоды, 2025].

Геологически кожуун расположен в пределах Тере-Хольской тектонической котловины, представляющей собой относительно небольшую структуру, сформировавшуюся в результате сдвиговых процессов. В Тере-Хольской котловине почва имеет следующий преобладающий состав: черноземы дисперснокарбонатные, часто солонцеватые, слабозасоленные в нижней части профиля, турбированные в более увлажненных позициях термокарстовых западин, и специфические полигенетичные темные содовые солончаки-солонцы, квазиглееватые в позициях с дополнительным увлажнением (под горным склоном). Почвы котловины характеризуются наличием комплекса криогенных признаков, обусловленных холодным резко континентальным климатом и близким залеганием сплошного щита многолетней мерзлоты. [Bronnikova et al, 2011]. Это обстоятельство учитывается при проектировании, так как может влиять на стабильность грунтов и необходимость проведения дополнительных геологических изысканий и мер по обеспечению безопасности сооружений.

В 2008 году были проведены широкомасштабные всесторонние исследования крепости Пор-Бажын и прилегающих к ней территорий с привлечением российских и международных ученых различной специализации [Аржанцева и др., 2011]. По результатам геофизических исследований были построены схематический разрез впадины оз. Тере-Холь и геокриологический разрез под островом, на котором расположена крепость Пор-Бажын. Полученные данные показали, что мощность многолетнемерзлых пород под островом составляет

25–30 м. За пределами озера, под берегами, мощность мерзлоты достигает до 170 м. Ниже мерзлые породы отсутствуют [Кошурников и др., 2008; Модин и др., 2010].

В целом, уникальное сочетание исторического наследия, природной красоты и суровых климатических условий делает этот район одновременно и привлекательным, и сложным для проектирования и строительства. Поэтому необходимо детально рассмотреть формообразующие архитектурные факторы с точки зрения социально-культурной специфики, контекста размещения, включающего климатические условия и особенности ландшафта. Взвесить все сильные и слабые стороны помогает SWOT-анализ территории, представленный в таблице.

Анализ данных таблицы показывает, что, несмотря на наличие значительного числа слабых сторон и угроз, преимущества и возможности проекта преобладают.

Важно отметить, что большинство выявленных рисков и недостатков могут быть успешно устранены за счет грамотного подхода к проектированию. К примеру, при отсутствии развитой инженерной структуры, являющейся слабой стороной проекта возможно внедрение автономных и экологических технологий. Использование солнечных панелей и ветрогенераторов (учитывая чистый воздух и открытость местности), локальных систем очистки воды и стоков (например, с использованием технологии замкнутого цикла или биологической очистки), не только решит проблему, но и станет частью экологического позиционирования комплекса.

Таблица

SWOT-анализ территории исследования

Table

SWOT-analysis of the study area

Сильные стороны / Strengths	Слабые стороны / Weaknesses	Возможности / Opportunities	Угрозы / Threats
По социальным признакам			
1. Богатое историко-культурное наследие. 2. Наличие памятника Федерального значения крепость Пор-Бажын. 3. Тишина и покой.	1. Можно добраться только на внедорожнике, или вертолѐте МИ-8, который выполняет субсидированные рейсы до посёлка Тере-Хольского кожууна. 2. Отсутствие развитой инженерной инфраструктуры.	1. Проведения национальных Республиканских фестивалей народных традиций «Пор-Бажын – зов предков». 2. Туристические маршруты: - сплавы по рекам; - конные; - на оленях; - пешие; - рыболовного тура. 3. Наличие интереса к развитию туризма со стороны администрации Тере-Хольского кожууна. 4. Дополнительные рабочие места для местных жителей.	1. Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду.
По природно-климатическим признакам			
1. Уникальные природные ландшафты (живописный вид на озеро Тере-Холь и горные массивы). 2. Источники или Аржааны: Бояй, Тарыс, Бошъ-Тей. 3. Чистый воздух.	1. Большое количество ограничений при работах в зоне природоохранной и культурной деятельности.	1. Редкие виды растений, птиц и животных, занесённых в красную книгу. 2. Добыча (вылов) рыбы на озере Тере-Холь, кроме периода нереста (с 1 мая по 10 июня).	1. Неблагоприятные погодные условия. Короткий период комфортных погод. 2. Вечная мерзлота.
По площадке исследования			
1. Участок имеет выгодный рельеф с видовыми характеристиками. 2. Находится на развязке между основными точками притяжения в Тере-Хольском кожууне. 3. Рядом озеро.	1. Многомёрзлые породы до 170 м. 2. Илистое дно озера с заболоченными берегами. 3. Территория относится к районам крайнего Севера со средней температурой зимой -35°C и летом +20°C.	1. Уникальное расположение участка в прямом взаимодействии с памятником культуры, аутентичной флорой и фауной.	1. Повышенная сейсмическая опасность.

Для нивелирования риска антропогенной нагрузки на территорию необходимо заблаговременно разработать сеть маршрутов с деревянными настилами. Такой подход позволит предотвратить вытаптывание растительного покрова. При проектировании зданий следует отдавать приоритет

небольшим домикам или модульным глэмпингам, минимально воздействующим на ландшафт и мерзлый грунт. Угрозу от неблагоприятных климатических условий и сейсмической активности возможно устранить правильным выбором эффективных современных материалов и конструктив-

ных решений. Другими словами, потенциал проекта выше, чем вероятность неудачи, при условии компетентного проектирования и правильного строительства туристического комплекса. Это значит, что данная местность подходит для строительства этнокультурного туристического объекта. В связи с этим была построена ситуационная схема участка, которая становится наглядным инструментом и трансформирует данные анализа в конкретные, взвешенные и устойчивые проектные решения (рис.3).

Согласно схеме (рис. 3), выбранная площадка на южном берегу озера Тере-Холь имеет абсолютно ровную поверхность, что делает её идеальной для строительства комплекса. Крепость Пор-Бажыр находится в

2 км, а село Кунгкртук – в 10 км. Источник Бояй расположен в 23 км, а рядом с ним, в 3 км, находится еще один источник Бошъ-Тей. В 70 км от села Кунгкртук расположен горячий источник Тарыс.

Таким образом, выбранная площадка обладает стратегическими преимуществами и служит идеальной операционной базой благодаря своему рельефу и центральному расположению относительно ключевых достопримечательностей. Это позволяет создать не изолированный объект, а многофункциональную экотуристическую сеть, объединяющую природные, культурные и оздоровительные ресурсы региона, что кратно повышает привлекательность и устойчивость проекта.

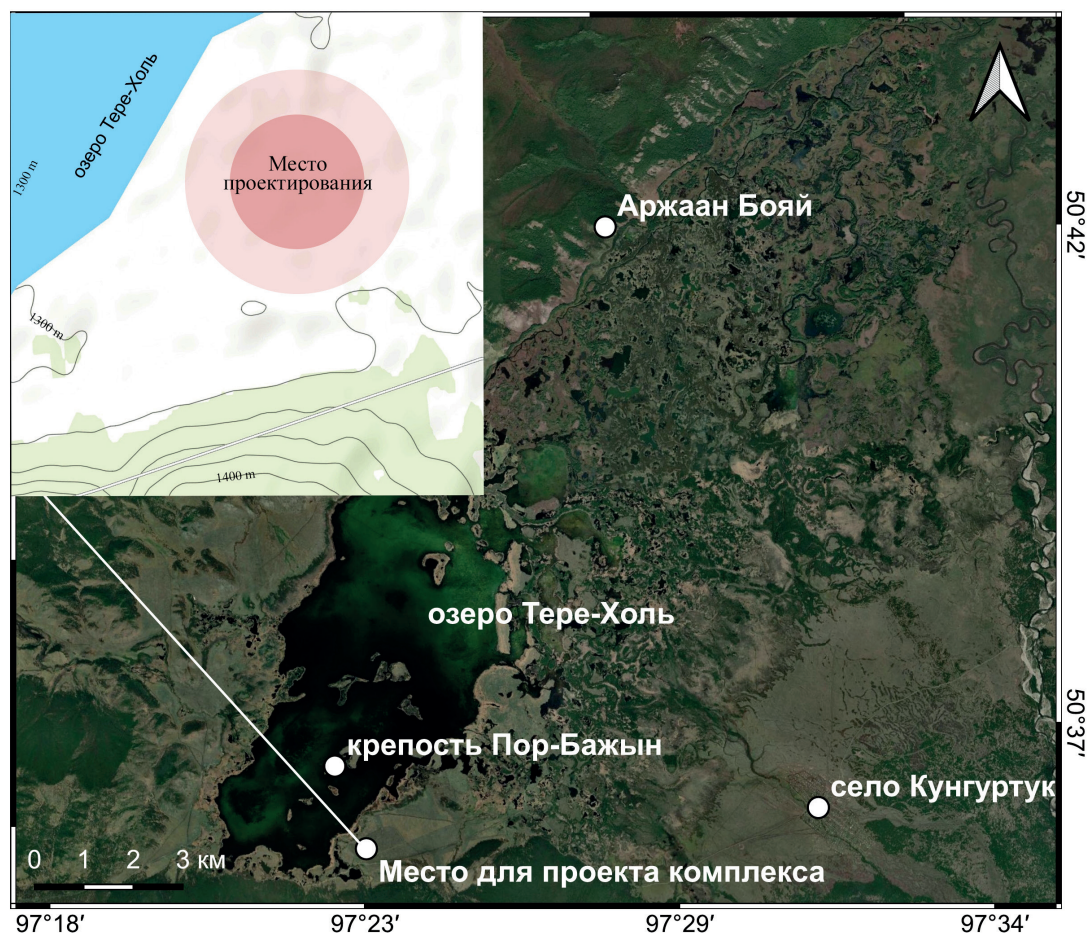


Рис. 3. Ситуационная схема участка исследования
Fig. 3. Situational Scheme of the Study area

Заключение

Проведенный SWOT-анализ территории свидетельствует о наличии значительного потенциала для реализации проекта. При условии профессионального проектирования и качественного строительства, шансы на успех существенно превышают возможные риски. Ключевым стратегическим преимуществом площадки является ее выгодное расположение и рельеф, что позволяет интегрировать объект в существующую структуру региона, создав не просто изолированный комплекс, а главный элемент многофункциональной экотуристической сети, объединяющей природные, культурные и рекреационные ресурсы. Это синергетическое решение значительно по-

вышает инвестиционную привлекательность и долгосрочную устойчивость проекта. Вместе с тем необходимо в полной мере учитывать установленные ограничения, связанные с расположением туристического комплекса в границах природоохранных и культурных зон. Учитывая совокупность выявленных факторов, наиболее целесообразным представляется создание здесь многофункционального этнокультурного центра, концепция которого основана на принципах минимального воздействия на уязвимую экосистему и бережного сохранения исторического наследия. Для финального подтверждения концепции необходимы дополнительные детальные натурные исследования и инженерные изыскания.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Список литературы

АржаанЛаб. Аржааны. Природное богатство Тувы [Электронный ресурс]. URL: https://arjaanytuvy.ru/?page_id=818 (дата обращения: 20.05.2025).

Аржанцева И.А., Болелов С.Б., Завьялов В.А., Рузанова С.А. Комплексные исследования на памятнике Пор-Бажын (Республика Тыва) // Археологические открытия. 2011. Т. 2008. С. 400–402.

Арсланова Г.Х. Роль индустрии туризма в экономике региона // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17, № 8. С. 1061–1070. doi: 10.18334/гпр.17.8.35121

Вайнштейн С.И. Древний Пор-Бажин // Советская этнография. 1964. № 6. С. 103–114.

Вайнштейн С.И. Мир кочевников Центра Азии. М.: Наука, 1991. 296 с.

Гришина С.В. Преимущества и ограничения SWOT-анализа // Актуальные вопросы экономических наук. 2009. № 5–5. С. 37–41.

Кенин-Лопсан М.Б. Традиционная культура тувинцев. Кызыл: Тувинское кн. изд-во, 2006. 230 с.

Клуб приключений / К истокам Енисея. Сплыв по рекам Балыктыг-Хем и Каа-Хем: описание [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vpoxod.ru/route/siberia/k-istokam-eniseya-splav-po-rekam-balyktyg-hem-i-kaa-hem/about> (дата обращения: 17.05.2025).

Кошурников А.В., Зыков Ю.Д., Панин А.В., Сизых Е. М., Зыков Ю.Д., Константи-

нов Е.А., Селезнева В.В., Просунцов К.С., Алексютина Д.М. Изучение мёрзлого основания археологического памятника «Крепость Пор-Бажын» // Инженерные изыскания. 2008. № 6. С. 28–31.

Красная книга Республики Тыва (животные, растения и грибы) / Ред. С.О. Ондар, Д.Н. Шауло. Воронеж, 2019. 560 с.

Мадюкова С.А. Ментальные и этнопсихологические особенности тувинцев в системе детерминант развития Республики Тыва (на примере этнотуризма) // Новые исследования Тувы. 2018. № 2. С. 72–94. doi: 10.25178/nit.2018.2.4

Малышева Е.О. Этнокультурный туризм в туристской дестинации (на примере республики Тыва) // Сервис Plus. 2020. Т. 14, №3. С. 31–37. doi: 10.24411/2413-693X-2020-10304

Мамонтов Д.А. Пути продвижения музейно-туристического комплекса «Пор-Бажын» // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. 2016. № 44. С. 50–54.

Министерство культуры Республики Тыва [Электронный ресурс]. URL: https://vk.com/wall-20358661_17477 (дата обращения: 17.05.2025).

Модин И.Н., Аржанцева И.А., Андреев М.А., Акуленко С.А., Кац М.Я. Геофизические исследования на острове Пор-Бажын в Республике Тыва // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2010. №6. С. 97–102.

Никонова Т.В. Проблемы и перспективы развития этнотуризма в современном обществе // Журнал прикладных исследований. 2022. Т. 4, № 11. С. 313–318. doi: 10.47576/2712-7516_2022_11_4_313

Панин А.В., Бронникова М.А., Успенская О.Н., Фузеина Ю.Н., Шеремецкая Е.Д., Селезнева Е.В., Константинов Е.А., Магрицкий Д.В., Ланг А. Палеоклимат, палеогидрология и палеокриогенез на юго-востоке Саяно-Тувинского нагорья в позднеледниковье и голоцене (по результатам изучения истории озера Тере-Холь) // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2012. № 72. С. 104–121.

Постановление №111 от 07.05.2019 «Об утверждении муниципальной программы "Развитие туризма в Тере-Хольском кожууне"». URL: <https://terehol.rtyva.ru/upload/files/4bd5f857-2cc2-4bdb-8a3e-a3bb594e14fb.jpg> (дата обращения 25.05.2025).

Постановление Правительства Российской Федерации от 16 ноября 2021 г. № 1946 «Об утверждении перечня районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера, в целях предоставления государственных гарантий и компенсаций для лиц, работающих и проживающих в этих районах и местностях, признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов Совета Министров СССР». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402969486> (дата обращения 11.12.2025).

Путеводитель по Республике Алтай. Алтай - Хакасия - Тува - Крепость Пор-Бажин [Электронный ресурс]. URL: <http://putevoditel-altai.ru/load/1117-altay-hakasiya-tuva-krepost-por-bazhin-fotosemka-etnografiya-osen.html> (дата обращения: 11.12.2025).

Разумова Е.В., Новикова Л.Н., Фокина А.М. Сокровища культуры Тувы // Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2015. № 1. С. 9–14.

Расписание погоды rp5 [Электронный ресурс]. URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Кунгуртуге (дата обращения 11.12.2025).

Сузукей В.Ю. Тувинское горловое пение «Хоомей» в контексте современности // Мир науки, культуры, образования. 2007. № 2 С. 48–51.

Сундова Д.А. Проблемы туризма в России // Научные высказывания. 2023. № 23 (47). С. 30–34.

Тулуш Д.К. Пор-Бажын – образец древнекитайской архитектуры в Саяно-Алтайском регионе // Наследие и современность. 2019. Т. 2, № 1. С. 27–39.

Bronnikova M.A., Turova I.V., Kuznetsova E.P., Kozlov D.N., Kholhlova O.S. Soils of cryogenic subarid steppe landscapes in the Terekhol intermontane Depression of the Sangilen Upland // Eurasian Soil Science. 2011. Vol. 44, no. 6. P. 589–603. doi: 10.1134/S1064229311060032

Malec T.E. Architectural Research / An Academic Textbook for Students of Architecture. Singapore: Springer, 2025. 89 p.

Tuvan Trip. Крепость Пор-Бажын. [Электронный ресурс]. URL: <https://tuvantrip.com/view-tuva-porbazhyn-fortress/> (дата обращения: 17.05.2025).

References

ArzhaanLab. Arzhaany. Prirodnoe bogatstvo Tuvy. [Arzhaan lab. The Arzhans. The natural wealth of Tuva]. URL: https://arjaanytuvy.ru/?page_id=818 (accessed: 20.05.2025).

Arzhanceva I.A., Bolelov S.B., Zav'yalov V.A., Ruzanova S.A. Kompleksnye issledovaniya na pamyatnike Por-Bazhyn (Respublika Tyva) [Comprehensive research on the Por-Bazhyn monument (Republic of Tyva)] // Arkheologicheskie otkrytiya [Archaeological discoveries]. 2011. Vol. 2008. P. 400–402. (in Russian).

Arslanova G.K. Rol' industrii turizma v ekonomike regiona [The role of the tourist industry in the regional economy] // Russian Journal of Entrepreneurship. 2016. Vol. 17, no. 8. P. 1061–1070. (in Russian). doi: 10.18334/rp.17.8.35121

Weinshtein S.I. Drevnij Por-Bazhin [Ancient Port Bazhin] // Sovetskaya etnografiya. 1964. no. 6. P. 103–114. (in Russian).

Weinshtein S.I. Mir kochevnikov Centra Azii [The world of the nomads of Central Asia]. M.: Nauka, 1991. 296 p. (in Russian).

Grishina S.V. Preimushchestva i ogranicheniya SWOT-analiza [Advantages and limitations of SWOT analysis] // Aktual'nye voprosy ekonomicheskikh nauk. 2009. no. 5–5. P. 37–41. (in Russian).

Kenin-Lopsan M.B. Tradicionnaya kul'tura tuvincev [Traditional Culture of the Tuvans]. Kyzyl: Tuvinian Book Publishing House, 2006. 230 p. (in Russian).

Klub prikladyucheniij. K istokam Eniseya. Splav po rekam Balyktyg-Hem i Kaa-Hem:

opisanie. [Adventure club. To the sources of the Yenisei. Rafting on the rivers Balyktyg-Khem and Kaa-Khem: description]. URL: <https://www.vpoxod.ru/route/siberia/k-istokam-eniseya-splav-po-rekam-balyktyg-hem-i-kaa-hem/about> (accessed: 17.05.2025).

Koshurnikov A.V., Zykov Yu.D., Panin A.V., Sizykh E. M., Zykov Yu.D., Konstantinov E.A., Selezneva V.V., Prosunczov K.S., Alekseyutina D.M. Izuchenie myorzlogo osnovaniya arheologicheskogo pamyatnika “Krepost’ Por-Bazhyn” [Study of the frozen base of the archaeological monument “Por-Bazhyn Fortress”] // *Inzhenernye izyskaniya*. 2008. No. 6. P. 28–31. (in Russian).

Krasnaya kniga Respubliki Tyva (zhivotnye, rasteniya i griby) [The Red Book of the Republic of Tyva (animals, plants and fungi)] / Eds. S.O. Ondar, D.N. Shauro. Voronezh, 2019. 560 p. (in Russian).

Madyukova S.A. Mental’nye i etnopsihologicheskie osobennosti tuvincev v sisteme determinant razvitiya Respubliki Tyva (na primere etnoturizma). [Mental and ethno-psychological features of Tuvans within the system of development determinants of the Republic of Tuva: the case of ethno-tourism] // *The New Research of Tuva*. 2018. No. 2. P. 72–94. (in Russian). doi: 10.25178/nit.2018.2.4

Malysheva E.O. Etnokul’turnyj turizm v turistkoj destinacii (na primere respubliki Tyva). [Ethnocultural tourism in a tourist destination (using the example of the Republic of Tyva)] // *Servis Plus*. 2020. Vol. 14, no. 3. P. 31–37. (in Russian). doi: 10.24411/2413-693X-2020-10304

Mamontov D.A. Puti prodvizheniya muzejno-turisticheskogo kompleksa “Por-Bazhyn” [Ways to promote the Por-Bazhyn Museum and Tourist Complex] // *Sovremennye tendencii v ekonomike i upravlenii: novyj vzglyad*. 2016. No. 44. P. 50–54. (in Russian).

Ministerstvo kul’tury Respubliki Tyva. [Ministry of Culture of the Republic of Tyva]. URL: https://vk.com/wall-20358661_17477 (accessed: 17.05.2025).

Modin I.N., Arjanseva I.A., Andreev M.A., Akulenko S.A., Katz M.Ya. Geofizicheskie issledovaniya na ostrove Por-Bazhyn v Respublike Tyva [Geophysical investigations on the Por-bajin island in Tuva region] // *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2010. No. 6. P. 97–102. (in Russian).

Nikonova T.V. Problemy i perspektivy razvitiya etnoturizma v sovremennom obshchestve // *Zhurnal prikladnyh issledovanij* [Problems and prospects of ethnotourism development in modern society]. 2022. Vol. 4, no. 11. P. 313–318. (in Russian). doi: 10.47576/2712-7516_2022_11_4_313

Panin A.V., Bronnikova M.A., Uspenskaya O.N., Fuzeina Y.N., Sheremetskaya E.D., Selezneva E.V., Konstantinov E.A., Magritskiy D.V., Lang A. Paleoklimat, paleogidrologiya i paleokriogenez na yugo-vostoke Sayano-Tuvinskogo nagor’ya v pozdnelednikov’e i golocene (po rezul’tatam izucheniya istorii ozera Tere-hol’) [Palaeoclimate, palaeohydrology and palaeocryogenic processes in the south-eastern Sayan-Tuva highland, southern siberia, in the late glacial and the holocene: the Tere-khol lake case study] // *Byulleten’ Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. 2012. No. 72. P. 104–121. (in Russian).

Postanovlenie №111 ot 07.05.2019 «Ob utverzhdenii municipal'noj programmy "Razvitie turizma v Tere-Khol'skom kozhuune"» [Resolution No. 111 dated May 7, 2019, "On Approval of the Municipal Program 'Development of Tourism in the Tere-Kholsky District'"]. URL: <https://terehol.rtyva.ru/upload/files/4bd5f857-2cc2-4bdb-8a3e-a3bb594e14fb.jpg> (accessed: 25.05.2025).

Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 16 noyabrya 2021 g. № 1946 "Ob utverzhdenii perechnya rayonov Kraynego Severa i mestnostey, priravennykh k rayonam Kraynego Severa, v tselyakh predostavleniya gosudarstvennykh garantiy i kompensatsiy dlya lits, rabotayushchikh i prozhivayushchikh v etikh rayonakh i mestnostyakh, priznanii utrativshimi silu nekotorykh aktov Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii i priznanii ne deystvuyushchimi na territorii Rossiyskoy Federatsii nekotorykh aktov Soveta Ministrov SSSR" [Decree of the Government of the Russian Federation of November 16, 2021 No. 1946 "On approval of the list of the Far North areas and localities equated to the Far North areas, for the purpose of providing state guarantees and compensations for persons working and living in these areas and localities, on recognizing as invalid some acts of the Government of the Russian Federation and recognizing as not valid in the territory of the Russian Federation some acts of the Council of Ministers of the USSR"]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402969486> (accessed 11.12.2025).

Putevoditel' po Respublike Altaj. Altaj - Khakasiya - Tuva - Krepost' Por-Bazhin. [Guide to the Altai Republic. Altai - Khakassia - Tuva - Por-Bazhin Fortress]. URL: <http://putevoditel-altai.ru/load/1117-altay-hakasiya-tuva-krepost-por-bazhin-fotosemka-etnografiya-osen.html> (accessed: 11.12.2025).

Razumova E.V., Novikova L.N., Fokina A.M. Sokrovishcha kul'tury Tuvy. [Cultural Treasures of Tuva] // Novaya nauka: Sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya. 2015. No. 1. P. 9–14. (in Russian).

Raspisanie pogody rp5 [Weather schedule rp5]. URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Кунгуртыге (accessed: 11.12.2025).

Suzuki V.Yu. Tuvinskoe gorlovoe penie «KhoomeJ» v kontekste sovremennosti [Tuvan throat singing «Hoomey» in the context of modern times] // The world of science, culture and education. 2007. No. 2. P. 48–51. (in Russian).

Sundova D.A. Problemy turizma v Rossii. [Problems of tourism in Russia] // Nauchnye vyskazyvaniya. 2023. No. 23 (47). P. 30–34. (in Russian).

Tulush D.K. Por-Bazhyn - obrazec drevnekitajskoj arkhitektury v Sayano-Altajskom regione. [Por-Bazhin is an example of ancient Chinese architecture in the Sayano-Altai region]. // Nasledie i sovremennost'. 2019. Vol. 2, no. 1. P. 27–39. (in Russian).

Bronnikova M.A., Turova I.V., Kuznetsova E. P., Kozlov D.N., Kholhlova O.S. Soils of cryogenic subarid steppe landscapes in the Terekhol intermontane Depression of the Sangilen Upland // Eurasian Soil Science. 2011. Vol. 44, no. 6. P. 589–603. doi: 10.1134/S1064229311060032

Malec T.E. Architectural Research. An Academic Textbook for Students of Architecture. Singapore: Springer, 2025. 89 p.

Tuvan Trip. Krepost' Por-Bazhyn. [Tuvan Trip. Por-Bazhin Fortress.]. URL: <https://tuvantrip.com/view-tuva-porbazhyn-fortress> (accessed: 17.05.2025).

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE TERRITORY FOR DESIGNING AN ETHNO-CULTURAL TOURIST FACILITY IN TUVA

O.V. Noskova, O.N. Blyankinshtein

Siberian Federal University, Krasnoyarsk,

E-mail: olganoskova.architect@yandex.ru, olga_bon23@mail.ru

The article is devoted to the preliminary analysis of the Tere-Kholsky kozhuun in the Republic of Tuva for the purpose of designing an ethno-cultural tourist complex. The study, using SWOT analysis and geoinformation mapping methods, identified the territory's strengths, including a unique historical and cultural heritage (Por-Bazhyn Fortress) and scenic natural sites, as well as serious threats related to harsh climatic conditions, permafrost, and remoteness from infrastructure. It is shown that the selected site has strategic advantages and serves as an ideal tourist hub due to its topography and central location relative to key attractions. It was revealed that the project's potential is higher than the probability of failure, provided competent design and correct construction of the tourist complex, aimed at minimizing the anthropogenic load on the region's fragile ecosystem.

Keywords: ethno-cultural tourist complex; SWOT analysis; Republic of Tuva; Tere-Kholsky kozhuun; Por-Bazhyn Fortress.

Received December 2, 2025. Accepted: February 5, 2026

Сведения об авторах

Носкова Ольга Владимировна – студент 2 курса магистратуры Института архитектуры и дизайна, Сибирский Федеральный университет. Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79. E-mail: olganoskova.architect@yandex.ru.

Блянкинштейн Ольга Николаевна – кандидат архитектуры, доцент Института архитектуры и дизайна, Сибирский федеральный университет. Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79. E-mail: oblyankinshtein@sfu-kras.ru.

Information about the authors

Noskova Olga Vladimirovna – Master student of the Institute of Architecture and Design, Siberian Federal University. 79, Svobodny Ave., 660041 Krasnoyarsk, Russia. E-mail: olganoskova.architect@yandex.ru.

Blyankinshtein Olga Nikolaevna – PhD in Architecture, Associate Professor of the Institute of Architecture and Design, Siberian Federal University. 79, Svobodny Ave., 660041 Krasnoyarsk, Russia. E-mail: oblyankinshtein@sfu-kras.ru.

УДК 504.05/.06

ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ КАРАКОЛЬСКИХ ОЗЁР (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

К.С. Савенко¹, В.А. Ситникова¹, Р.В. Любимов¹, А.В. Кивацкая¹, М.В. Сушенцова²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

²Московский государственный университет им. Ломоносова, Москва,

E-mail: kassiSav@yandex.ru, valya_90_well@mail.ru, geoeol04@mail.ru, vfhbif2001@yandex.ru

Комплекс высокогорных Каракольских озёр один из активно посещаемых туристами памятников природы Республики Алтай. Однако он не организован для целей рекреации, перемещение групп туристов, а также их подвоз автотранспортом не регламентируются. В ходе исследования территории, прилегающей к озёрам, установлены локальные очаги развивающейся дигрессии почвенно-растительного покрова. В первом приближении описаны закономерности дигрессии растительного покрова (стадии рекреационной дигрессии). Также проанализированы особенности изменения некоторых биогеохимических показателей (содержание гумуса, нитратов, фосфатов, калия и других биофильных элементов) в почвах в разных природных условиях и имеющих разный уровень рекреационной дигрессии.

Ключевые слова: Каракольские озёра; высокогорье; стадии рекреационной дигрессии; физико-химические свойства и химический состав почв.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18002

Дата поступления: 30.10.2025. Принята к печати: 25.11.2025

Оценка и контроль экологического состояния рекреационных территорий для Республики Алтай (РА) вопрос крайне актуальный. При общей численности населения менее 211 тыс. чел. и плотности 2.3 чел./км², регион сталкивается с постоянным ростом потока туристов. Так, по данным Министерства туризма РА в 2024 г. республику посетили около 2.7 млн. человек [Годовой доклад..., 2025].

Каракольские озёра находятся в высокогорной зоне на сравнительно небольшом расстоянии от туристского центра с. Чемал (около 40 км). Несмотря на труднодоступность, этот район достаточно активно посещают туристы (в будние дни

до 150–300 человек, в выходные – до 400). В последние несколько лет значительно вырос автопарк внедорожного транспорта, расширились возможности доставки туристов непосредственно к озёрам, тогда как ранее здесь преобладали пешие и конные маршруты.

Квадроциклы и другой внедорожный транспорт, перемещающиеся вне накатанных дорог, способствуют дорожной эрозии. Усиливающееся вытаптывание ведёт к расширению очагов дигрессии почвенно-растительного покрова в пределах тропической сети и неорганизованных стоянок туристов.

Дальнейшее ускорение процессов деградации высокогорных ландшафтов на прилегающей к озёрам территории ожидается на фоне строительства асфальтированной дороги к ним. Вопрос организации этой зоны для целей рекреации остаётся открытым.

На территории РА мониторинг состояния рекреационных территорий не ведется, актуальных данных о состоянии Каракольских озёр и прилегающих ландшафтов в открытых источниках нет. При этом подавляющее большинство работ [Казанская и др., 1977; Оборин, 2010; Кузнецов и др., 2019], связанных с рекреационной экологией, посвящены оценке стадий дигрессии лесных биогеоценозов пригородных лесов. Крайне мало сведений об отклике на рекреационное воздействие высокогорных ландшафтов, расположенных выше границы леса.

Целью настоящей работы являлось рекогносцировочное обследование территории, прилегающей к Каракольским озёрам, инвентаризация стоянок туристов с оценкой стадий рекреационной дигрессии почвенно-растительного покрова, а также качественная и количественная оценка изменений наземной растительности, физических свойств и химического состава почв, реагирующих на усиление рекреационного воздействия.

Этот район нами рассматривается в качестве модельного для разработки универсального подхода (алгоритма) оценки экологического состояния высокогорных ландшафтов, подверженных влиянию туризма и представляющих особую рекреационную и экологическую ценность.

Материалы и методы

Методической основой для оценки экологического состояния почвенно-растительного покрова, как основного реципиента рекреационного воздействия, послужили подходы, сложившиеся в области рекреационной экологии [Казанская и др.; ОСТ, 95; Оборин, 2010; Кузнецов и др., 2019] и апробированные методики в ранее проведенных исследованиях геоэкологических последствий массового неорганизованного отдыха в водоохранной зоне р. Катунь (2006–2020 гг.) [Савенко, Робертус, 2021].

В районе Каракольских озёр в 2023–2024 гг. были выбраны зоны с разным уровнем нарушенности почвенно-растительного покрова – 4 стоянки туристов (на рисунке 1 обозначены цифрами 2, 3, 5 и 7), находящиеся на разных стадиях рекреационной дигрессии и часть полевой автомобильной дороги (обозначена цифрой 4), где останавливается большая часть внедорожного транспорта. Также в непосредственной близости от стоянок туристов и дороги были заложены 5 пробных площадок для изучения фоновых условий (на расстоянии от 2 м без визуально проявленных следов вытаптывания).

Предварительная оценка уровня посещаемости Каракольских озёр, исходя из полевых исследований, в будний и выходной день, а также опроса местных предпринимателей, колеблется от нескольких десятков до трех сотен туристов в день, в зависимости от сезона года и погодных условий. Примерные подсчёты указывают на то, что Каракольские озёра за сезон посещают более 9.5 тыс. человек.

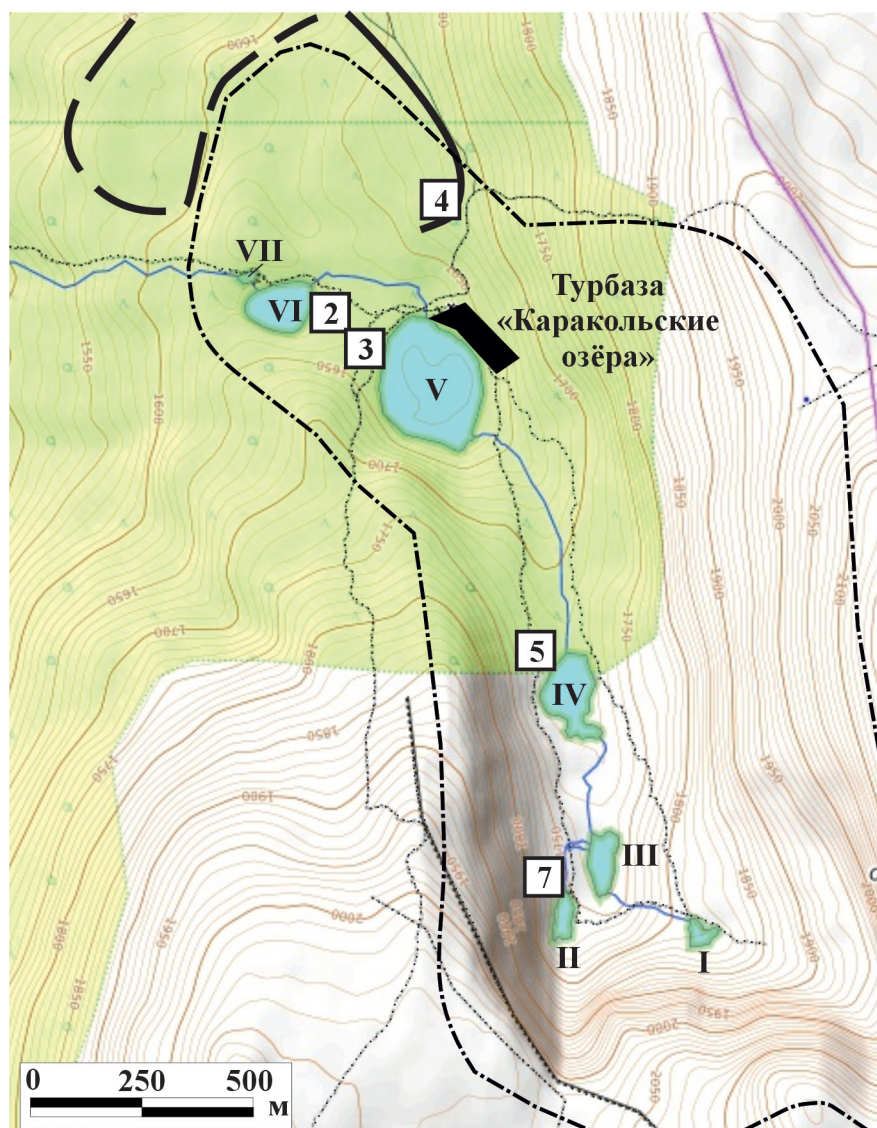


Рис. 1. Схема рекреационных объектов в районе Каракольских озер с обследованными в 2023 г. участками рекреационной дигрессии почвенно-растительного покрова.

2,3,4,5,7 – обследованные участки с визуальной проявленной площадной дигрессией почвенно-растительного покрова; I–VII – Каракольские озера, соответственно от Первого до Седьмого; тонкие линии из точек – основные тропы; жирная сплошная линия сверху – полевая дорога для транспорта высокой проходимости; пунктирная линия с точкой – граница охранной зоны памятника природы «Каракольские озёра»; черный прямоугольник – действующая турбаза; жирная пунктирная линия сверху – запроектированная асфальтированная дорога

Fig. 1. Scheme of recreational facilities within Karakol Lakes and sites of recreational digression of soil and vegetation cover surveyed in 2023.

2,3,4,5,7 – surveyed areas with visually manifested areal digression of soil and vegetation cover; I–VII – Karakol lakes, respectively, from the First to the Seventh; thin lines of dots – main trails; a bold solid line at the top – field road for high-traffic transportation; dotted line with a dot – border of the protected area of the natural monument «Karakol Lakes»; black rectangle – active the campsite; a thick dotted line at the top – the projected paved road

Туристский сезон из-за условий значения с площадью охранной зоны в высокогорья ограничивается летними 530 га, соответственно рекреационные месяцами, т.е. составляет около 90 дней. нагрузки на этой территории составляют

Каракольские озёра являются около 17.9 чел./га в сезон и 0.2 чел./га памятником природы регионального в день. Однако, туристами посещается

преимущественно территория около озёр и ряд других природных объектов, поэтому реальные уровни рекреационных нагрузок на тропах значительно выше.

Состояние растительного покрова оценивалось визуально, сравнивались фоновые и вытопанные участки по проективному покрытию. В пределах участков со следами вытаптывания, в соответствии с рекомендациями ОСТ [1995], оценивались стадии дигрессии, через соотношение площади вытоптанной до минеральных горизонтов почвы и общей площади обследуемого участка рекреации.

Для оценки состояния почвенного покрова были изучены физические свойства и химический состав (табл. 1) верхней части гумусового горизонта (А) до глубины 7 см. Небольшая глубина исследования выбрана в связи с малой мощностью почв и проявлением при вытаптывании наиболее выраженных изменений в их верхнем горизонте.

Всего для лабораторных исследований было отобрано 32 пробы почв и в пределах исследованных участков проведено более 100 экспресс-измерений твердости почв.

Статистический анализ данных выполнялся в программе Excel.

Таблица 1

Изученные показатели состояния почв и методы их определения

Table 1

Studied indicators of soil condition and methods of their determination

Показатель	Метод определения
Твердость	Полевые экспресс-измерения на поверхности почвы твердомером TYD-1 согласно прилагаемой инструкции
Плотность	Метод режущего кольца
Плотность твердой фазы	Пикнометрический метод
Влажность	Весовой метод
Порозность	Расчетный через соотношение плотности сложения почвы и плотности ее твердой фазы
Воздухообеспеченность	Расчетный через разность порозности и влажности
Элементный состав	Валовое содержание элементов методом рентгенофлуоресцентного анализа (спектрометрии – РФА), с помощью портативного анализатора Delta Professional 542685, в режиме «почва» со стандартом Ag
рН водной вытяжки	Потенциометрический метод
рН солевой вытяжки	Метод ЦИНАО
Кальций и магний обменные (подвижные)	Метод ЦИНАО (комплексометрическое определение)
Нитраты (NO_3) в водной вытяжке	Приближенная оценка в воздушно-сухих образцах, фотометрическим методом с салициловой кислотой
Фосфаты (P_2O_5)	Определение подвижных соединений фосфора по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (экстрагирующий раствор соляной кислоты молярной концентрации с (HCl) = 0.2 моль/дм ³)
Органический углерод / гумус	Определение органического углерода (гумуса) в почвах по методу Тюрина (титриметрически)

Результаты и обсуждение

Состояние растительного покрова.

Каракольские озёра находятся в пределах Центрально-Алтайской физико-географической провинции на западном склоне хребта Иолго, водораздела рек Бия и Катунь у подножия перевала Багаташ. Здесь берёт начало р. Тура (бассейн р. Катунь). В пределах водораздела высота поверхности колеблется от 1200–1800 м на северо-западе и до 2300–2500 м над уровнем моря на востоке и юго-востоке.

В районе Каракольских озёр распространены высокогорные тундровые и луговые альпинотипные ландшафты. На криогенных и эрозионно-денудационных формах рельефа вокруг верхних озёр (Первое, Второе, Третье) распространены луговые осоково-дерновиннозлаковые и ерниковые тундры, произрастающие на горно-тундровых торфянисто-перегнойных и дерновых почвах, а также полидоминантные альпинотипные луга и нивальные луговины на горно-луговых дерновых грубогумусных почвах (альпийских ранкерах) [Черных, Самойлова, 2011].

Четвёртое озеро находится практически на границе распространения леса, здесь тундровая растительность сменяется лиственнично-кедровым ерnikово-бадановым редколесьем на горно-тундровых торфянисто-перегнойных и дерновых почвах с влажными лугами по долинам ручьев, травянистыми заболоченными тундрами на горно-тундровых торфянисто-перегнойных почвах (рис. 2).

У нижних озёр (Пятое, Шестое, Седьмое) из тундровой растительности фактически остаются лишь участки ерника

из ивы пушистой, формирующей подлесок лиственнично-кедрового редколесья, также на открытых участках, в том числе в поймах Шестого и Седьмого озёр лесная растительность сменяется высокотравными полидоминантными субальпинотипными лугами на горно-луговых почвах [Черных, Самойлова, 2011].

Массовая многолетняя неорганизованная рекреационная деятельность привела к формированию в охранной зоне памятника природы «Каракольские озёра» локальных участков с умеренной и значительной нарушенностью растительного покрова.

Как отмечалось выше, здесь сформировалась сеть необустроенных туристских троп и полевых дорог с сильно выраженной эрозией, в местах стоянок туристов в береговой зоне озёр образовались очаги развивающейся дигрессии почвенно-растительного покрова (рис. 3).

Скорость и характер изменений почвенно-растительного покрова зависят, как от интенсивности рекреационных нагрузок, так и от природно-климатических условий. Однако механизм трансформации биогеоценозов под воздействием вытаптывания будет сходным. Разные авторы [Казанская и др., 1977; ОСТ, 1995; Оборин, 2010; Кузнецов и др., 2019] выделяют от 3 до 5, иногда более стадий рекреационной дигрессии, отражающих постепенный процесс деградации и фрагментации исходного фитоценоза, за счет формирования сети троп. На конечных стадиях происходит замещение вторичными и сорными видами растений, устойчивыми к вытаптыванию или полное исчезновение растительности.

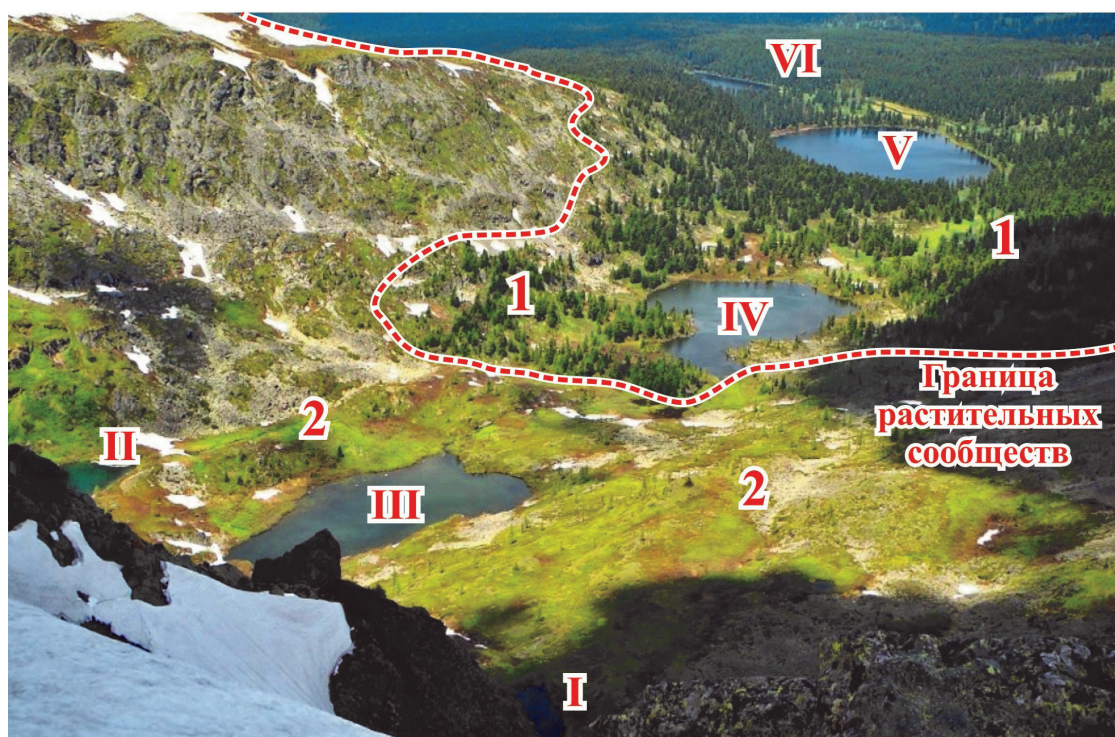


Рис. 2. Растительные сообщества в районе Каракольских озёр.

1 – лиственнично-кедровое редколесье с подлеском из ерника, на открытых участках сменяющееся высокотравными субальпийскими лугами; 2 – осоково-дерновиннозлаковые и ерниковые тундры с влажными лугами по долинам ручьев; пунктирная линия – граница леса, разделяющая две основные группы растительных сообществ; I–VI – Каракольские озёра, соответственно от Первого до Шестого

Fig. 2. Plant communities of Karakol Lakes.

1 – larch-cedar open woodlands with an undergrowth of dwarf birch thicket, in open areas replaced by tallgrass subalpine meadows; 2 – sedge-turf-slag and dwarf birch thicket tundra with moist meadows along stream valleys; dotted line – forest boundary separating two main groups of plant communities; I–VI – Karakol lakes, respectively, from the First to the Sixth



Рис. 3. Примеры линейных и площадных развивающихся очагов дигрессии почвенно-растительного покрова в районе Каракольских озёр

Fig. 3. Examples of linear and areal developing foci of soil and vegetation digression in the zone of Karakol lakes

В результате формируется специфический ценоз, названный Н.С. Казанской с соавторами [1977] «куртинно-полянным комплексом».

Например, на аэрофотоснимке береговой зоны Четвертого озера хорошо видны фрагментированные многочисленными тропами участки ерника и отдельно стоящие разновозрастные сосны, а также обширные вытопанные участки с разреженным травянистым покровом, в виде редких небольших островков мятликовых и единичных побегов бадана (рис. 4).

В первом приближении для изученных высокогорных ландшафтов можно описать следующий поэтапный процесс рекреационной дигрессии:

1 стадия характеризуется отсутствием видимых следов вытаптывания, выше границы леса распространены густые заросли ерника из ивы пушистой, чередующиеся со сплошным мохово-лишайниковым покровом, в зоне редколесья на открытых участках и по мере снижения высоты над уровнем моря заросли ерника чередуется с альпийскими лугами и лесными видами трав, а также разновозрастным лиственнично-кедровым подростом;

2 стадия дигрессии обусловлена намечающимися тропинками, занимающими не более 5% площади рекреационных участков, растительный покров соответствует природному ландшафту;

3 стадия дигрессии – тропинки и вытопанные поляны занимают уже до 10% от всей территории, подверженной рекреационному воздействию, на полянах

и около троп преобладают нехарактерные для естественных ландшафтов виды растительности, например, подорожник, манжетка, разнообразие луговых видов снижается, встречаются единичные экземпляры чемерицы, купальница и фиалки, близко и выше границы леса расширяются участки полностью лишенные растительного покрова, в лесной зоне появляются отдельные оголенные корни деревьев;

4 стадия дигрессии – формируется хорошо различимый фрагментированный рисунок рекреационного ландшафта, до 25% площади приходится на сильно выбитые участки бивуаков с островками мятликовых и на многочисленные тропинки, делящие ивовый ерник на куртины, в редколесье вблизи троп, дорог и вытопанных площадок разрастаются сорные виды трав, у многих деревьев корни выступают на поверхность, подрост внутри рекреационного ландшафта встречается единично;

5 стадия дигрессии – площадь выбитых, лишенных растительного покрова участков превышает 25% территории, прилегающие участки также имеют сильно разреженную многочисленными тропами растительность, состоящую преимущественно из мятликовых, подорожника, одуванчика и т.п., у значительной части взрослых деревьев корни обнажены и значительно выступают над поверхностью почвы, подрост внутри рекреационного ландшафта практически не встречается.



Рис. 4. Пример куртинно-полянного комплекса, сформировавшегося под воздействием вытаптывания в береговой зоне Четвертого Каракольского озера в результате его нерегламентируемого посещения.

Пунктирная линия – тропинопная сеть, разделяющая куртины с сохранившимся ерником из ивы пушистой. Справа показаны участки с полностью деградировавшим напочвенным покровом

Fig. 4. An example of a bush-meadow complex appeared because of trampling during unregulated visits to the coastal zone of the Fourth Karakol lake.

The dotted line – a path network separating the curtains from the preserved willow bushy hedge.

Areas with completely degraded ground cover are shown on the right

Границей устойчивости рекреационных участков, когда возможно естественное самовосстановление растительного покрова и сохранение изначального уровня рекреационной ценности территории, считается переход от 3 к 4 стадии дигрессии. Более ранние исследования в долине р. Катунь [Савенко, Робертус, 2021] показывают, что именно на этом уровне дигрессии наиболее ярко проявляются разного рода изменения почвенных условий.

Состояние почвенного покрова.

Биогеохимические особенности почв во многом обусловлены почвообразующими породами. В районе Каракольских озёр распространены эффузивы среднего, основного и кислого состава, песчаники и глинистые сланцы. На них в условиях значительного перепада высот, неоднородности рельефа, увлажненности и растительного покрова сформировались горно-тундровые торфянисто-перегнойные и

горно-тундровые дерновые почвы, а также горно-луговые дерновые грубогумусные почвы.

На данном этапе исследования почвы не разделялись по типам, поскольку целью был анализ общих тенденций изменения почвенного покрова под влиянием вытаптывания. Как уже отмечалось в методике, почвы рекреационных зон сравнивались с фоновыми участками, которые закладывались на расстоянии от 2 м в местах без видимых следов вытаптывания.

Первичные данные по уровням содержания ряда биофильных элементов в высокогорных почвах, подверженных вытаптыванию (рис. 5), свидетельствуют о довольно заметных изменениях, связанных в первую очередь с нарушением естественной структуры почвы и наземной растительности, способствующих в конечном счете перестройке в пределах локальных участков (тропы, стоянки) устоявшихся биогеохимических циклов.

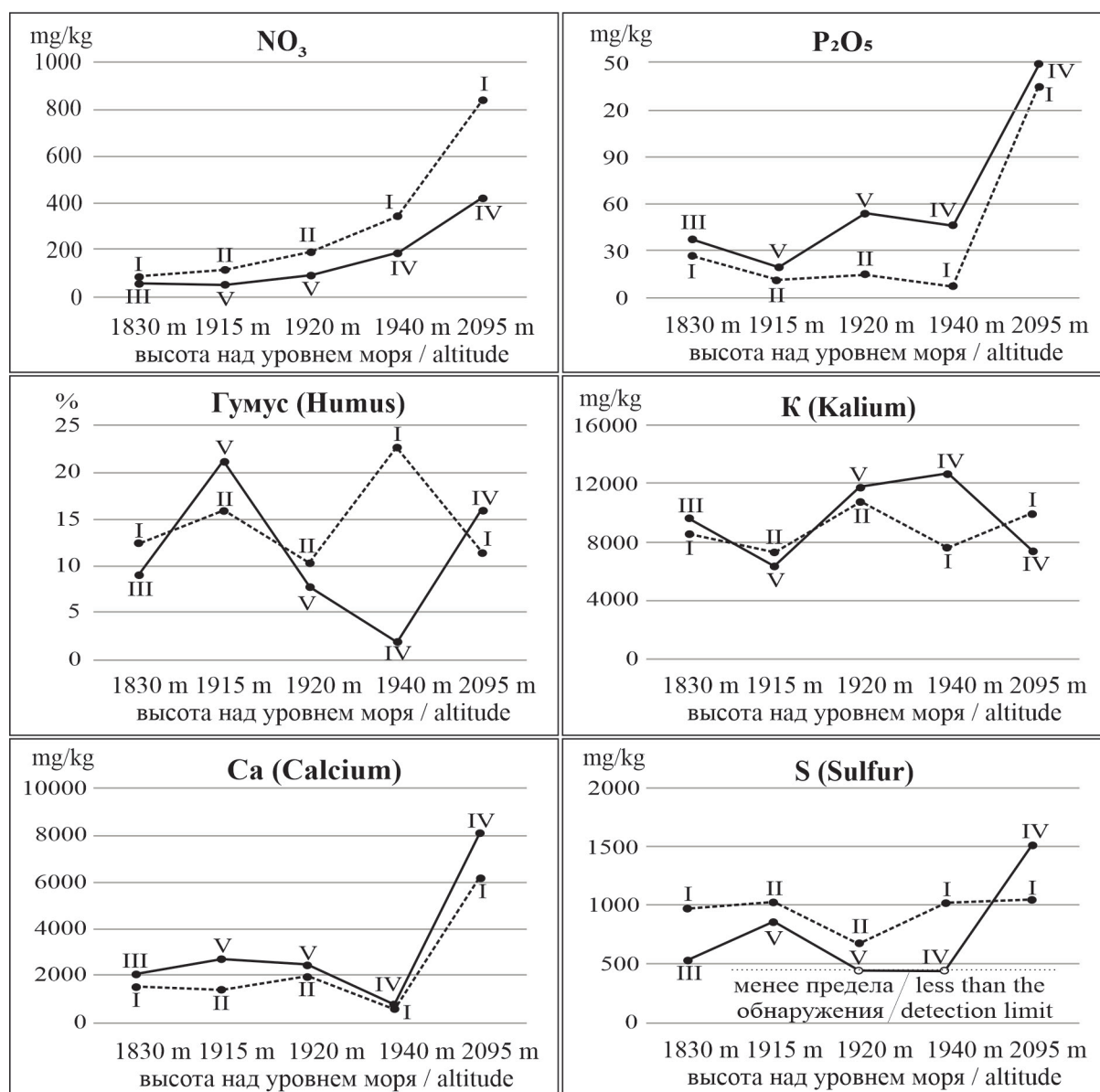


Рис. 5. Уровни содержания некоторых биофильных элементов и соединений в почвах в районе Каракольских озёр.

I–V – стадии дигрессии почвенно-растительного покрова; пунктирная линия – фоновые почвы; сплошная линия – почвы рекреационных зон

Fig. 5. Levels of certain biophilic elements and compounds in soils in the Karakol Lakes region.

I–V – stages of soil and vegetation cover digression; dotted line – background soils; solid line – soils of recreational areas

В исследованных почвах по мере увеличения высоты над уровнем моря ярко выражено постепенное накопление нитратов (NO_3), при этом в вытоптаных почвах их содержание снижено в 1.6–2.3 раза. Важно отметить, что нитраты определялись в воздушно-сухой навеске, вследствие чего можно говорить лишь о приблизительном

(завышенном) содержании нитратов в почве. Однако, в целом установленная тенденция накопления нитратов в условиях холодного климата высокогорий находит подтверждение и в других исследованиях. В частности, Н.А. Леошкина [2010] отмечает, что в альпийских экосистемах Кавказа низкая активность почвенной

биоты и процессов разложения органики способствуют аккумуляции в почве, так называемого «биологического» азота. Иными словами, слабо разложившиеся остатки растительности, ежегодно перекрывающиеся новыми порциями опада, являются источником для активного поступления нитратов в почву. При этом процессы денитрификации в холодном климате протекают в основном только в насыщенных водой почвах [Соколов и др., 1988; Попова, Шевчинская, 2009; Маслов, 2015].

Как и в случае нитратов в уплотненных почвах, в основном отмечается более низкое в сравнении с фоном валовое содержание серы, элемента по своему биогеохимическому значению, не уступающему основным макроэлементам почвы. При ее дефиците нарушается азотный обмен в растениях [Шеуджен и др., 2014; Якименко, Бойко, 2022].

До 80% серы, как правило, аккумулируется в гумусовом горизонте в виде слаборастворимых органических веществ, однако в условиях сильного их окисления (рН почв в районе исследования – 3.71–4.67) образуется SO_4^{2-} , который активно поглощается растениями и восстанавливается до S^{2-} . Процесс продолжается до определенного предела, пропорционального содержанию серы в почве, которая при этом в итоге обедняется элементом [Иванов, 1994]. Возможно, в условиях изреживания, а иногда полной деградации наземной растительности на участках рекреации этот биофильный элемент может удаляться из круговорота.

Тенденция к накоплению по мере

увеличения высоты местности, отмечается для подвижных соединений фосфора – минимальные значения на высотах 1830 м и 1915 м (8–13 мг/кг в фоновых и 21–38 мг/кг в вытоптаных почвах), а максимальные на высоте более 2000 м (соответственно 135 и 149 мг/кг). Содержание фосфатов в уплотненных почвах увеличивается (1.1–5.0 раз). Наиболее вероятными причинами может быть снижение проективного покрытия и соответственно фитомассы травянистой растительности, поглощающей доступные соединения фосфора [Акимова, 2023]. Таким образом, на фоновых участках подвижный фосфор активно поглощается растениями, а на вытоптаных участках, практически полностью лишенных напочвенного покрова, он остается. Так, например, на самом высокогорном участке пробная площадка закладывалась в пойме озера в профиле почвы присутствовал хорошо выраженный дерновый горизонт, напротив, на полевой автомобильной дороге (1920 м н.у.м.) дернина была практически полностью уничтожена (см. рис. 5).

Изменение содержания гумуса в почвах, подверженных вытаптыванию, наиболее неоднородно, может как уменьшаться, так и увеличиваться на разных стадиях дигрессии. Вероятно, что на определенном этапе в результате постоянного механического воздействия на поверхность почвы, истирания и перемешивания органогенного и гумусово-аккумулятивного горизонтов увеличивается, главным образом, содержание грубого гумуса. То есть, именно измельченные растительные

остатки, слабо разлагающиеся в условиях высокогорья, даже в сильно вытоптаных почвах могут давать высокое содержание органического углерода и соответственно завышенные содержания гумуса.

Интересно также отметить, что уровни валового содержания калия в изученных почвах имеют ярко выраженную обратную корреляционную связь с гумусом – -0.91 (табл. 2, 3).

Основным источником калия в почвах являются калийсодержащие минералы подстилающих пород [Середина, 2007]. Возможно, тесная отрицательная корреляционная связь между валовым содержанием калия и гумуса в почвах обусловлена изменением соотношения в вытоптаных почвах органической и минеральной части. Как уже отмечалось выше, выявленные повышенные значения гумуса связаны с накоплением

измельченных, но слабо разложившихся растительных остатков, которые буквально втаптываются в поверхностный горизонт почвы, соответственно в опробованном 0–7 см слое почвы калий, содержащийся преимущественно в составе прочных алюмосиликатных минералов, может механически смещаться в более глубокие слои почвы.

Наибольшее количество корреляционных связей установлено для кальция, как для его валовой формы, так и для подвижной. Этот элемент играет крайне важную роль в формировании плодородия почвы и обеспечении растительности необходимыми питательными элементами. Так, кальций участвует в формировании структуры почвы, скреплении почвенных частиц, влияющих на аэрацию и водопроницаемость [Лазарев, Трутаев, 2006; Шеуджен и др., 2015].

Таблица 2

Фактические значения физических, физико-химических свойств и химического состава почв в рекреационной зоне Каракольских озёр

Table 2

Actual values of physical, physical-chemical properties, and chemical composition of soils in the recreational area of the Karakol Lakes

п/п	T/SP, кг/ см ²	ПС/ DSC, г/см ³	ПТФ/ SFD, г/см ³	П/Р, %	В/М, %	ПА/ AP, %	pH _в , ед.	pH _к , ед.	Г, %	NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	S, мг/кг	K, мг/кг	Ca (вал.), мг/кг	Ca ²⁺ (KCl), мг/кг
1	25	0.70	2.25	68.72	74.4	16.4	4.52	4.48	9.14	66.92	38.1	534	9637	2103	2.13
2	17	0.55	2.07	73.47	87.4	25.5	4.31	4.41	12.42	87.36	27.45	976	8614	1525	1.38
3	38	0.93	2.27	58.86	45.4	16.4	4.39	3.42	21.19	49.31	20.51	857	6372	2728	5.0
4	20	0.56	2.03	72.38	63.7	36.7	3.74	2.97	16.01	115.66	12.64	1031	7306	1454	1.88
5	30	1.06	2.38	55.18	14.2	40.0	4.67	3.61	7.86	93.02	54.31	<500	11737	2486	1.88
6	20	0.74	2.09	64.49	61.5	18.9	4.3	3.3	10.37	189.6	15.88	674	10808	1972	1.25
7	23	0.73	2.33	68.46	15.3	57.2	4.01	3.32	1.91	186.73	46.44	<500	12671	809	1.95
8	14	0.50	2.04	75.55	77.4	36.8	3.71	2.87	22.73	343.33	8.47	1023	7645	660	0.88
9	21	0.72	2.29	68.59	67.8	19.8	4.62	4.06	16.01	423.21	149.21	1516	7408	8074	11.38
10	15	0.50	2.05	75.79	64.6	43.7	4.38	3.94	11.47	837.04	135.32	1053	9928	6203	9.13

Таблица 3

Корреляционные связи между уровнями содержания некоторых химических элементов в почвах в районе Каракольских озёр

Table 3

Correlations between the levels of certain chemical elements in the soils of the Karakol Lakes region

Свойства и состав	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Г/НС	NO ₃	P ₂ O ₅	S	K	Ca (вал.)	Ca ²⁺ (KCl)
T/SP	0.44	0.00	-0.01	<u>-0.56</u>	-0.18	-0.27	-0.04	-0.06	-0.02
ПС/DSC	<u>0.58</u>	-0.01	-0.22	-0.49	-0.06	-0.23	0.26	0.00	-0.05
ПТФ/SFD	<u>0.59</u>	0.21	-0.41	-0.33	0.23	0.06	0.36	0.15	0.15
П/Р	-0.55	0.06	0.17	0.52	0.14	0.30	-0.22	0.05	0.10
В/М	-0.16	0.32	0.52	0.19	-0.01	0.06	<u>-0.60</u>	0.13	0.10
ПА/АР	-0.43	-0.38	-0.44	0.32	0.10	0.31	0.54	-0.21	-0.13
pH _{H2O}	1.00	0.72	-0.28	0.02	0.53	0.01	0.19	<u>0.58</u>	0.46
pH _{KCl}		1.00	-0.30	0.05	0.45	-0.05	0.07	0.42	0.34
Г/НС			1.00	0.07	-0.15	0.38	-0.91	0.11	0.17
NO ₃				1.00	0.74	0.48	0.02	0.65	0.68
P ₂ O ₅		n=10			1.00	0.64	0.06	0.93	0.91
S		p=0.05				1.00	-0.49	0.66	0.69
K		<i>p=0.10</i>					1.00	0.21	-0.28
Ca (вал.)								1.00	0.97
Ca ²⁺ (KCl)									1.00

Примечания: жирным шрифтом выделены статистически значимые связи при уровне вероятности 95%, курсивом и подчеркнуты – 90%; Т – твёрдость; ПС – плотность сложения; ПТФ – плотность твёрдой фазы; П – пористость; ПА – пористость аэрации; В – влажность; Г – содержание гумуса.

В рассмотренном наборе корреляционных связей, закономерно наибольшее их количество и значимость (связи при вероятности 95%) проявлены между химическими свойствами и элементами. Однако следует также отметить опосредованное и возможно именно поэтому менее ярко выраженное (при вероятности 90%) влияние на элементный состав некоторых физических свойств. Т.е. фактически вытаптывание и уплотнение почвы меняет интенсивность и характер направленности протекающих в ней биогеохимических процессов.

Например, кальций имеет тенденцию

к накоплению в почвах рекреационных зон (рис. 5), что в свою очередь приводит к их подщелачиванию (в нашем случае рН_в повышается на 5–15%), отмечаемому во многих работах по рекреационной экологии [Бганцова и др., 1987; Оборин, 2010; Кузнецов и др., 2019; Савенко, Робертус, 2021]. Но имеются также менее выраженные связи рН_в с физическими свойствами. Степень и характер их вклада требует уточнения и дополнительных исследований.

В заключении интересно также отметить некоторые выявленные различия в уровнях содержания нормируемых

металлов. В сравнении с фоном в почвах, подверженных вытаптыванию отмечено накопление марганца и свинца. Эти элементы, как и другие представленные в таблице 4 нормируются в почвах населенных мест и сельскохозяйственных территорий. Превышение допустимых концентраций отмечается по мышьяку, никелю и имеет природный характер, т.е. связано с химическим составом почвообразующих пород.

Для большинства элементов в условиях рекреационного воздействия всё же наблюдается снижение концентрации этих элементов (табл. 3). Причинами является их миграция в верхние горизонты почв за счет растительности и соответственно при деградации напочвенного покрова элементы либо вымываются из верхних горизонтов, либо прекращают в них поступать.

В случае вымывания природо-обусловленных загрязнителей повышается риск их попадания в грунтовые и поверхностные воды. Учитывая нахождение рекреационных участков в береговой зоне Каракольских озёр, данный факт требует более детальных исследований.

Закключение

В настоящее время район высокогорных Каракольских озёр активно посещается туристами, однако природная территория остается не организованной для рекреационных целей. Отсутствуют оборудованные пешие и конные тропы, бесконтрольно перемещается внедорожный транспорт. В результате на маршрутах ведущих к озёрам и на их побережьях отмечаются активно развивающиеся локальные очаги дигрессии почвенно-растительного покрова.

Таблица 4

Сравнение валовых содержаний некоторых элементов в почвах в районе Каракольских озёр с предельно и ориентировочно допустимыми концентрациями (ПДК и ОДК)

Table 4

Comparison of the gross concentrations of certain elements in soils in the area of the Karakol lakes with the maximum and approximate permissible concentrations (MPC and APC)

Элементы	Место отбора проб										ПДК/ ОДК mg/kg
	Озеро №2		Озеро №4		Озеро №5		Подъездная дорога		Озеро №6		
	p / r	ф / b	p / r	ф / b	p / r	ф / b	p / r	ф / b	p / r	ф / b	
V, mg/kg	53	86	69	89	61	72	79	90	78	79	150/
Mn, mg/kg	838	602	369	119	207	192	682	322	407	386	1500/
Cd, mg/kg	н.д./ u.m.	31	н.д./ u.m.	н.д./ u.m.	н.д./ u.m.	н.д./ u.m.	28	25	н.д./ u.m.	н.д./ u.m.	/1.0
Cu, mg/kg	34	59	29	39	16	22	29	34	26	28	/66.0
As, mg/kg	4.6	7.6	10.3	8.1	5.5	9.6	10.8	10.3	7.7	9.5	/5.0
Ni, mg/kg	53	78	66	23	28	32	56	54	55	53	/40.0
Pb, mg/kg	25	18	22	18	36	18	28	24	19	14	/65.0
Zn, mg/kg	85	91	77	26	42	47	80	77	76	81	/110

Примечания: ПДК и ОДК для почв по СанПиН 1.2.3685-21. В столбце с буквой (ф) представлены значения в условно фоновых почвах, (p) – в почвах рекреационных зон. Символом н.д. показаны значения ниже предела обнаружения. Жирным шрифтом выделены значения превышающие ПДК или ОДК.

Негативные последствия вытаптывания, выражающиеся визуально в снижении проективного покрытия и составе растительности, распространяются и на почвенный покров, его физические свойства, а также химический состав. При этом, если интенсивность изменения отдельных свойств почв легко устанавливается посредством сравнения участков с разной степенью вытоптанности, то выяснение последовательности накопления изменений в почве, особенно в её химическом составе крайне сложно. В тоже время понимание биогеохимических процессов, происходящих в почвах под воздействием вытаптывания, позволит объективно оценивать уровень нарушенности почвенно-растительного покрова и его устойчивость к этому виду воздействия, а значит эффективно управлять и организовывать территорию для целей рекреации.

В районе высокогорных Каракольских озёр биогеохимические характеристики почвы на вытоптаных локальных участках дигрессии заметно изменяются. В частности уровень обеспеченности почвы элементами участвующими в питании растений (гумус, нитраты, фосфаты, сера, калий) на фоновых и рекреационных участках различаются.

В вытоптаных почвах содержание нитратов понижено относительно фона в 1.6–2.3 раза, также в основном снижено валовое содержание серы. Напротив, увеличено содержание фосфатов (1.1–5.0 раз), что связано вероятнее всего

со снижением фитомассы травянистой растительности, активно поглощающей подвижный фосфор из почвы.

Изменение содержания гумуса в почвах, подверженных вытаптыванию наиболее неоднородно, отмечено как его уменьшение, так и увеличение на участках с разной степенью вытоптанности. Вероятно, что на определенном этапе в результате постоянного механического воздействия на поверхность почвы, истирания и перемешивания органогенного и гумусово-аккумулятивного горизонтов увеличивается, главным образом, содержание органических остатков. Отчасти это объясняет и тесную обратную корреляционную зависимость между уровнями содержания гумуса и калия. Буквально втоптывающийся в поверхностный горизонт почвы измельченный и слаборазложившийся растительный опад «вытесняет» минерализованную часть почвы, содержащую, в том числе алюмосиликатные минералы с калием. Учитывая, что в ходе исследования опробовался слой почвы 0–7 см, соотношение органической и минеральной частей в нём на фоновых и рекреационных участках значительно отличалось.

Необходимо дальнейшее изучение рассмотренных особенностей изменения химического состава вытоптаных почв и совершенствование методических подходов к оценке эколого-биогеохимического состояния почвенно-растительного покрова, подверженного интенсивному вытаптыванию в условиях рекреации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН № FUFZ-2026-0002 (регистрационный номер 126012716037-8).

Список литературы

Акимова А.С. Круговорот соединений фосфора в почве // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №8 (134). URL: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.38> (дата обращения: 05.09.2025).

Бганцова В.А., Бганцов В.Н., Соколов А.А. Влияние рекреационного лесопользования на почву // Природные аспекты рекреационного использования лесов. М.: Наука, 1987. С. 70–95.

Годовой доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2024 году. Горно-Алтайск, 2025. 158 с.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Книга 1: s-элементы. М.: Недра, 1994. 304 с.

Казанская Н.С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н. Рекреационные леса. М.: Лесная промышленность, 1977. 96 с.

Кузнецов В.А., Рыжова И.М., Стома Г.В. Изменение лесных экосистем мегаполиса под влиянием рекреационного воздействия // Почвоведение. 2019. № 5. С. 633–642.

Лазарев В.И., Трутаева Н.Н. Влияние кальций содержащих соединений на микробиологическую активность и физико-химические свойства почвы // Достижения науки и техники АПК. 2006. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kaltsiysoderzhaschih-soedineniy-na-mikrobiologicheskuyu-aktivnost-i-fiziko-himicheskie-svoystva-pochvy> (дата обращения: 10.09.2025).

Леошкина Н.А. Азот в системе почва-растение в альпийских экосистемах Северо-Западного Кавказа: Автореф. дис...канд. биол. наук. М., 2010. 17 с.

Маслов М.Н. Углерод, азот и фосфор в тундровых экосистемах северной Финляндии: Дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2015. 234 с.

ОСТ 56-100-95. Методы и единицы рекреационных нагрузок на лесные природные комплексы. М. 1995. 14 с.

Оборин М.С. Особенности анализа рекреационной и антропогенной нагрузки вследствие санаторно-курортной и туристской деятельности // Географический вестник. 2010. № 2. С. 19–24.

Попова Л.Ф., Шевчинская Н.В. Особенности накопления нитратов в различных типах почв селитебного ландшафта Архангельска // Научный электронный архив. 2009. URL: <http://econfr.rae.ru/article/5493> (дата обращения: 28.10.2025).

Савенко К.С., Робертус Ю.В. Новые подходы к оценке экологического состояния

рекреационных ландшафтов Республики Алтай // География и природные ресурсы. 2021. № 2. С. 59–68. doi: 10.15372/GIPR20210207

Середина В.П. Геохимические особенности поведения калия в почвах // Вестник Том. гос. ун-та. Биология. 2007. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geohimicheskie-osobennosti-povedeniya-kaliya-v-pochvah> (дата обращения: 09.10.2025).

Соколов О.А., Семёнов В.М., Агаев В.А. Нитраты в окружающей среде. Пушино: ОНТИ НЦБН АН СССР. 1988. 303 с.

Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). Карта. М – 1:500000. ФГУП Новосибирская картографическая фабрика. 2011.

Шеуджен А.Х., Слюсарев В.Н., Бондарева Т.Н., Гуторова О.А., Осипов М.А., Есипенко С.В. Валовое содержание серы и ее формы в черноземе, выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // Плодородие. 2014. №4 (79). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/valovoe-soderzhanie-sery-i-ee-formy-v-chnozeme-vyschelochennom-zapadnogo-predkavkazya-v-usloviyah-agrogeneza> (дата обращения: 09.10.2025).

Шеуджен А.Х., Бочко Т.Ф., Онищенко Н.М., Бондарева Т.Н., Осипов М.А., Есипенко С.В. Содержание и формы соединений кальция в черноземе, выщелоченном западного Предкавказья в условиях агрогенеза // Научный журнал КубГАУ, 2015. №105(01). URL: <https://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/35.pdf> (дата обращения: 28.10.2025).

Якименко В.Н., Бойко В.С. Изменение содержания форм серы в почвах полевых опытов в Западной Сибири // Агрохимия, 2022. № 11. С. 3–12. doi: 10.31857/S0002188122110114

References

Akimova A.S. Krugovorot soedinenii fosfora v pochve [The circulation of phosphorus compounds in the soil] // Mezhdunarodnii nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2023. No. 8 (134). URL: <https://research-journal.org/archive/8-134-2023-august/10.23670/IRJ.2023.134.38> (accessed: 05.09.2025) (in Russian).

Bgantsova V.A., Bgantsov V.N., Sokolov A.A. Vliyanie rekreatsionnogo lesopolzovaniya na pochvu [The influence of recreational forestry on soil]. Natural aspects of recreational use of forests. M.: Nauka. 1987. P. 70–95 (in Russian).

Godovoi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredi Respubliki Altai v 2024 godu [Annual report on the state and environmental protection of the Altai Republic in 2024]. Gorno-Altaysk, 2025. 158 p. (in Russian).

Ivanov V.V. Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Kn. 1: s-elementi [Ecological geochemistry of the elements. Book 1: s-elements]. M.: Nedra, 1994. 304 p. (in Russian).

Kazanskaya N.S., Lanina V.V., Marfenin N.N. Rekreatsionnie lesa [Recreational forests]. M.: Forest industry, 1977. 96 p. (in Russian).

Kuznetsov V.A., Ryzhova I.M., Stoma G.V. Izmenenie lesnikh ekosistem megapolisa

pod vliyaniem rekreatsionnogo vozdeistviya [Changes in forest ecosystems of the metropolis influenced by recreation]. Soil Science. 2019. No. 5. P. 633–642. (in Russian).

Lazarev V.I., Trutaeva N.N. Vliyanie kaltsii sodержashchikh soedinenii na mikrobiologicheskuyu aktivnost i fiziko-khimicheskie svoistva pochvi [The effect of calcium-containing compounds on the microbiological activity and physico-chemical properties of the soil] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2006. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kaltsiysoderzhaschih-soedineniy-na-mikrobiologicheskuyu-aktivnost-i-fiziko-himicheskie-svoystva-pochvy> (accessed: 10.09.2025).

Leoshkina N.A. Azot v sisteme pochva-rastenie v alpiiskikh ekosistemakh Severo-Zapadnogo Kavkaza [Nitrogen in the soil-plant system in alpine ecosystems of the North-West Caucasus]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 2010. 17 p. (in Russian).

Maslov M.N. Uglerod, azot i fosfor v tundrovikh ekosistemakh severnoi Finoskandii [Carbon, nitrogen, and phosphorus in tundra ecosystems of northern Finoscandia]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 2015. 234 p. (in Russian).

OST 56-100-95. Metodi i yedinitsi rekreatsionnikh nagruzok na lesnie prirodnie kompleksi [Methods and units of recreational loads on forest natural complexes]. M., 1995. 14 p. (in Russian).

Oborin M.S. Osobennosti analiza rekreatsionnoi i antropogennoi nagruzki vsledstvie sanatorno-kurortnoi i turistskoi deyatel'nosti [Features of the analysis of recreational and anthropogenic loads from sanatorium-resort and tourist activities] // Geographical Bulletin. 2010. No. 2. P. 19–24. (in Russian).

Popova L.F., Shevchinskaya N.V. Osobennosti nakopleniya nitratov v razlichnikh tipakh pochv selitebnogo landshafta Arkhangelska [Features of nitrate accumulation in various types of soils in the residential landscape of Arkhangelsk] // Nauchnii elektronnyi arkhiv. 2009. URL: <http://econfr.ae.ru/article/5493> (accessed: 28.10.2025). (in Russian).

Savenko K.S., Robertus Yu.V. Novie podkhodi k otsenke ekologicheskogo sostoyaniya rekreatsionnikh landshaftov Respubliki Altai [New approaches to the assessment of the ecological state of recreational landscapes of the Altai Republic] // Geography and Natural Resources. 2021. No. 2. P. 59–68. (in Russian). doi: 10.15372/GIPR20210207

Seredina V.P. Geokhimicheskie osobennosti povedeniya kaliya v pochvakh [Geochemical features of potassium behavior in soils] // Vestn. Tom. gos. un-ta. Biologiya. 2007. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geokhimicheskie-osobennosti-povedeniya-kaliya-v-pochvah> (accessed: 09.10.2025) (in Russian).

Sokolov O.A., Semyonov V.M., Agaev V.A. Nitrati v okruzhayushchei srede. [Nitrates in the environment]. Pushchino: ONTI NTSBN AN SSSR, 1988. 303 p. (in Russian).

Chernykh D.V., Samoilova G.S. Landshafti Altaya (Respublika Altai i Altaiskii krai) [Landscapes of Altai (Republic of Altai and Altai Krai)]. Map. M – 1:500000. Federal State Unitary Enterprise «Novosibirsk Cartographic Factory». 2011. (in Russian).

Sheudzhen A.Kh., Slyusarev V.N., Bondareva T.N., Gutorova O.A., Osipov M.A., Yesipenko S.V. Valovoe sodержanie seri i yee formi v chernozeme vishchelochennom Zapadnogo Predkavkazya v usloviyakh agrogeneza [Total sulfur content and its forms in leached chernozem of the Western Ciscaucasia under conditions of agrogenesis] // Plodorodie. 2014. No. 4 (79). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/valovoe-soderzhanie-sery-i-ee-formy-v-chernozeme-vyschelochennom-zapadnogo-predkavkazya-v-usloviyah-agrogeneza> (accessed: 09.10.2025). (in Russian).

Sheudzhen A.Kh., Bochko T.F., Onishchenko N.M., Bondareva T.N., Osipov M.A., Yesipenko S.V. Soderzhanie i formi soedinenii kaltsiya v chernozeme vishchelochennom zapadnogo Predkavkazya v usloviyakh agrogeneza [The content and forms of calcium compounds in leached chernozem of the Western Ciscaucasia under conditions of agrogenesis] // Nauchnii zhurnal KubGAU, 2015. No. 105 (01). URL: <https://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/35.pdf> (accessed: 28.10.2025). (in Russian).

Yakimenko V.N., Boiko V.S. Izmenenie sodержaniya form seri v pochvakh polevikh opitov v Zapadnoi Sibiri [Changes in the content of sulfur forms in the soils of field experiments in Western Siberia] // Agrokimiya, 2022. No. 11. P. 3–12. (in Russian). doi: 10.31857/S0002188122110114

ECOLOGICAL-BIOGEOCHEMICAL STATE OF SOIL AND VEGETATION COVER IN THE RECREATIONAL ZONE OF KARAKOL LAKES (REPUBLIC OF ALTAI)

K.S. Savenko¹, V.A. Sitnikova¹, R.V. Lyubimov¹, A.V. Kivatskaya¹, M.V. Sushentsova²

¹*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow,*

E-mail: kassiSav@yandex.ru, valya_90_well@mail.ru, geoekol04@mail.ru, vfhbif2001@yandex.ru

The complex of high-altitude Karakol lakes is one of the most popular tourist destinations in the Altai Republic. However, it is not organized for recreational purposes, and the movement of tourist groups and their transportation by vehicles are not regulated. During the study of the area surrounding the lakes, local areas of developing soil and vegetation degradation were identified. The patterns of vegetation degradation (stages of recreational degradation) were described in a first approximation. Additionally, the changes in certain biogeochemical indicators (humus content, nitrate content, phosphate content, potassium content, and other biophilic elements) in soils under different natural conditions and with varying levels of recreational degradation were analyzed.

Keywords. Karakol lakes; highlands; stages of recreational digression; physico-chemical properties and chemical composition of soils.

Received: October 30, 2025. Accepted: November 25, 2025

Сведения об авторах

Савенко Ксения Сергеевна – кандидат географических наук, научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 649105, Республика Алтай, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8. ORCID: 0009-0004-9903-7299. E-mail: kassiSav@yandex.ru.

Ситникова Валентина Александровна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 649105, Республика Алтай, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8. ORCID: 0000-0002-4606-3766. E-mail: valya_90_well@mail.ru.

Любимов Роман Владимирович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 649105, Республика Алтай, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8. ORCID: 0009-0006-6254-737X. E-mail: geokol04@mail.ru.

Кивацкая Анна Васильевна – кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 649105, Республика Алтай, с. Кызыл-Озёк, пер. Мирный, 8. ORCID: 0009-0006-2696-8126. E-mail: robertus22@mail.ru.

Сушенцова Марина Вячеславовна – аспирант географического факультета Московского государственного университета им. Ломоносова. Россия, 19991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1 ORCID: 0000-0002-8750-8602. E-mail: vfhbif2001@yandex.ru.

Information about the authors

Savenko Ksenia Sergeevna – PhD in Geography, researcher at the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 8, Mirny Lane, 649105 Kyzyl-Ozek, Altai Republic, Russia. ORCID: 0009-0004-9903-7299. E-mail: kassiSav@yandex.ru.

Sitnikova Valentina Aleksandrovna – PhD in Geology and Mineralogy, researcher at the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 8, Mirny Lane, 649105 Kyzyl-Ozek, Altai Republic, Russia. ORCID: 0000-0002-4606-3766. E-mail: valya_90_well@mail.ru.

Lyubimov Roman Vladimirovich – PhD in Geology and Mineralogy, senior researcher at the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 8, Mirny Lane, 649105 Kyzyl-Ozek, Altai Republic, Russia. ORCID: 0009-0006-6254-737X. E-mail: geokol04@mail.ru.

Kivatskaya Anna Vasilevna – PhD in Geology and Mineralogy, junior research assistant at the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 8, Mirny Lane, 649105 Kyzyl-Ozek, Altai Republic, Russia. ORCID: 0009-0006-2696-8126. E-mail: robertus22@mail.ru.

Sushentsova Marina Vyacheslavovna – Postgraduate student at the Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University. 1, Leninskie gory, 19991 Moscow, Russia. ORCID: 0000-0002-8750-8602. E-mail: vfhbif2001@yandex.ru.

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДЫ И СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА НА УЧАСТКЕ ВЕРХНЕЙ ОБИ В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ

E-mail: akulova8282@mail.ru, v.bukaty@mail.ru, heller53@mail.ru, pshipunov95@gmail.com, paradossky@mail.ru

Ключевые слова: река Обь; показатель ослабления света; показатель поглощения света жёлтым веществом; оптически активные компоненты воды; хлорофилл; трофический статус.

Дата поступления: 12.12.2025. Принята к печати: 13.02.2026

В настоящее время усиливающееся антропогенное воздействие на крупные водотоки и водоёмы неизбежно приводит к снижению класса качества их вод. Здесь важное место занимает изучение сезонных изменений основных оптически активных компонентов природных вод (чистой воды, окрашенных растворённых органических веществ, органо-минеральной взвеси и водорослей фитопланктона), влияющих на оптические характеристики воды, что служит основой успешного их применения для диагностики экологического состояния одного из крупных водотоков Сибири – реки Обь.

Оптические характеристики рек мало изучены, но имеющаяся информация показывает, что реки заметно контрастируют с озёрами [Davies-Colley, 1990; Карбышев, Павлов, 2000; Davies-Colley et al., 2003; Pawlak et al., 2003; Julian et al., 2008; Lobo et al., 2017; Akulova et al., 2021]. В отличие от озёр, реки представляют собой сравнительно мелководные экосистемы, характеризующиеся однонаправленностью течений. Кроме того, течения в реках переносят частицы органо-минеральной взвеси, тогда как в озёрах взвешенные вещества имеют тенденцию оседать с глубиной. Эти принципиальные различия между стоячими и проточными водами имеют серьёзные последствия для оптических характеристик таких как, прозрачность и цвет воды. Будет справедливо отметить, что реки оптически более сложны, чем озёра. Оценка качества речной воды и контроль за состоянием таких крупных водотоков как Обь необходимы для проведения и выполнения комплекса водоохранных мероприятий,

направленных на предотвращение отрицательных экологических последствий антропогенного воздействия, защиту рек от истощения, загрязнения и эвтрофикации.

Целью работы явилось исследование некоторых первичных гидрооптических характеристик – показателя ослабления света, показателя поглощения света жёлтым веществом и содержание главного пигмента водорослей фитопланктона – хлорофилла *a* для оценки качества воды и экологического статуса Верхней Оби в период открытой воды.

Материалы и методы

В летний период (23–30 июня 2025 г.) на десяти створах верхнего течения реки Обь на участке ниже Бийска до с. Елунино собрано и обработано 26 гидрооптических и гидробиологических проб речной воды с поверхностного горизонта. В полевых условиях проведено 208 отдельных измерений коэффициента пропускания T (спектральной прозрачности) воды на портативном спектрофотометре DR1900 до и после фильтрации проб через мембраны с диаметром пор 0.22 мкм.

Для определения коэффициента пропускания воды применили спектрофотометрический метод, в основу которого, как известно, положен принцип измерения отношения интенсивностей двух световых потоков, проходящих через объёмы с исследуемой и эталонной средами. Расчёты спектрального показателя ослабления света $\varepsilon(\lambda')$ (при натуральном основании логарифма) провели по формуле, вытекающей из закона Бугера:

$$\varepsilon(\lambda') = (1/L) \cdot \ln(1/T(\lambda')), \quad (1)$$

где λ' – длина волны света, L – длина оптического пути (размер кюветы), $T(\lambda') = I(\lambda') / I_0(\lambda')$ – коэффициент пропускания слоя водной среды в относительных единицах, $I(\lambda')$, $I_0(\lambda')$ – интенсивности прошедшего и падающего света, соответственно.

Показатель поглощения света жёлтым веществом $\kappa_{ys}(\lambda')$ определили после измерения коэффициента пропускания воды, очищенной от взвеси фильтрованием с использованием мембран «Владипор» типа МФАС-ОС-1 с диаметром пор 0.22 мкм. В эксперименте использовали кварцевые кюветы длиной $L = 10$ мм. Максимальная абсолютная погрешность расчёта спектрального показателя ослабления света и спектрального показателя поглощения света жёлтым веществом для створов реки

Обь составила 0.5 м^{-1} .

Концентрации основного фотосинтетического пигмента водорослей фитопланктона – хлорофилла a определили в Лаборатории гидробиологии стандартным спектрофотометрическим методом в соответствии с ГОСТом 17.1.4.02-90. Дополнительно рассчитали концентрации жёлтого вещества согласно работам [Nyquist, 1979; Маньковский, 2015].

Относительный спектральный вклад оптически активных компонентов речной воды (взвеси, жёлтого вещества, хлорофилла a и чистой воды) в $\varepsilon(\lambda')$ рассчитали с использованием модифицированной полуэмпирической спектральной модели показателя ослабления света [Акулова, 2015], которая впервые предложена О.В. Копелевичем [1983] и имеет вид:

$$\varepsilon(\lambda') = \kappa_{chl}(\lambda') + \kappa_{ys}(\lambda') + \sigma_{mol}(\lambda') + \sigma_s(\lambda') + \kappa_{pw}(\lambda') \quad (2)$$

где $\kappa_{chl}(\lambda')$ и $\kappa_{ys}(\lambda')$ – спектральные показатели поглощения хлорофиллом a и жёлтым веществом, соответственно, $\sigma_{mol}(\lambda')$ – спектральный показатель молекулярного рассеяния чистой водой, $\sigma_s(\lambda')$ – спектральный показатель рассеяния взвесью, $\kappa_{pw}(\lambda')$ – спектральный показатель поглощения чистой водой. Как видно из данного выражения спектральное ослабление света описано с помощью трёхпараметрической модели. Рассчитанный нами показатель ослабления по формуле (1) не содержит данные о показателе ослабления чистой водой $\varepsilon_{pw}(\lambda') = \kappa_{pw}(\lambda') + \sigma_{mol}(\lambda')$. Таким образом, в формуле (2) значения $\varepsilon(\lambda')$, полученные из измерений на спектрофотометре, должны суммироваться со значениями $\varepsilon_{pw}(\lambda')$,

взятых из справочных данных [Pope, Fry, 1997; Smith, Baker, 1981], что и выполнено в наших исследованиях.

Показатель поглощения хлорофиллом рассчитали по формуле:

$$\kappa_{chl}(\lambda') = \kappa_{sp.chl}(\lambda') \cdot C_{chl}, \quad (3)$$

где C_{chl} – концентрация хлорофилла a , в мг/м^3 , $\kappa_{sp.chl}(\lambda')$ – удельный показатель поглощения хлорофиллом, в $\text{м}^2/\text{мг}$, его значения приведены в работе [Копелевич, 1983]. Для расчётов $\kappa_{pw}(\lambda')$ использовали табличные данные [Pope, Fry, 1997; Smith, Baker, 1981], а для $\sigma_{mol}(\lambda')$ – взяли из работы [Smith, Baker, 1981].

Так как в эксперименте определяли параметр $\kappa_{ys}(\lambda')$, то спектральный показатель рассеяния взвесью $\sigma_s(\lambda')$ можно найти по формуле:

$$\sigma_s(\lambda') = \varepsilon(\lambda') - [\kappa_{chl}(\lambda') + \kappa_{ys}(\lambda') + \sigma_{mol}(\lambda') + \kappa_{pw}(\lambda')]. \quad (4)$$

Трофический статус и класс качества воды на исследуемых участках реки оценили в соответствии с классификациями, представленных в работах [Оксиюк и др., 1993; Трифонова, 1993].

Результаты и обсуждение

В период 23–30 июня 2025 г. в верхнем течении реки Обь (на участке ниже г. Бийска до села Елунино) были проведены комплексные экспедиционные исследования, в результате которых были получены натурные данные по спектральным показателям ослабления света $\varepsilon(\lambda')$ и поглощения света жёлтым веществом $\kappa_{ys}(\lambda')$ в воде по измерениям коэффициента пропускания T на четырёх длинах волн – 430, 450, 550 и 670 нм. Определены концентрации хлорофилла a и жёлтого вещества. Рассчитаны относительные спектральные вклады основных оптически активных компонентов речной воды (жёлтого вещества, взвеси, хлорофилла и чистой воды) в показатель ослабления света для десяти исследуемых створов реки Обь.

В результате расчётов получено, что значения спектрального показателя ослабления света $\varepsilon(\lambda')$ на 26 станциях Верхней Оби в период исследования варьировали в диапазоне 6.6–19.0 м⁻¹, что соответствует эвтрофному типу водотоков. Максимальные значения $\varepsilon(\lambda')$ (до 19.0 м⁻¹) зафиксированы у левого берега р. Обь, ниже Елунино (замыкающий створ), минимальные значения $\varepsilon(\lambda')$ (6.6 м⁻¹) – на первом створе – р. Бия, ниже г. Бийска. Величины свыше 18.0 м⁻¹ наблюдались на р. Катунь, Катунское. Значения показателя поглощения све-

та жёлтым веществом $\kappa_{ys}(\lambda')$ находились в пределах 5.7–12.8 м⁻¹, данные представлены в табл. 1.

Аналогичный подход, основанный на физической модели ослабления света, был ранее использован при исследовании сезонной динамики и пространственного распределения некоторых оптических характеристик – ε (300–800) и κ_{ys} (440) речных вод в Новой Зеландии [Davies-Colley et al., 2003; Davies-Colley et al., 2014], Европе [Pawlak et al., 2003], США [Julian et al., 2008] и Южной Америке [Costa et al., 2013; Lobo et al., 2017].

Полученные нами данные для участка Верхней Оби величины показателя поглощения света жёлтым веществом κ_{ys} на длине волны $\lambda' = 450$ нм варьировали в пределах 6.6–9.5 м⁻¹, значения концентрации жёлтого вещества C_{ys} в период исследования изменялись в диапазоне от 31.1 до 44.8 г/м³, амплитуда колебаний мало отличалась для различных створов. Максимальная величина C_{ys} зафиксирована на замыкающем створе (табл. 2).

Универсальным экологическим маркером степени развития и фотосинтетической активности водорослей фитопланктона считается хлорофилл a , его уровень содержания положен в основу различных классификаций, разработанных для оценки трофического статуса водоёмов (водотоков), качества воды и включён в систему комплексных мониторинговых наблюдений [Carlson, 1977; Оксиюк и др., 1993; Трифонова, 1993; Сиротский, 2005; Сиротский и др., 2011; Котовщиков, Долматова, 2018; Ярушина и др., 2024].

Таблица 1

Изменения спектральных показателей ослабления света $\varepsilon(\lambda')$ и поглощения света жёлтым веществом $\kappa_{ys}(\lambda')$ в поверхностном слое Верхней Оби на разных створах

Table 1

Changes in the spectral coefficient of light attenuation $\varepsilon(\lambda')$ and coefficient of light absorption by yellow substance $\kappa_{ys}(\lambda')$ in the surface layer of the Upper Ob on different sections

Название створа	Станция	Расположение станции на створе	$\varepsilon(\lambda')$, M^{-1}			$\kappa_{ys}(\lambda')$, M^{-1}		
			$\lambda'=430$ нм	$\lambda'=550$ нм	$\lambda'=670$ нм	$\lambda'=430$ нм	$\lambda'=550$ нм	$\lambda'=670$ нм
р. Бия, ниже г. Бийска	2.1	левый берег	8.6	6.9	6.8	7.4	6.1	6.0
	2.2	середина	8.6	6.7	6.6	7.2	6.0	5.9
	2.3	правый берег	8.6	6.7	6.6	7.3	6.1	5.9
р. Катунь, Катунское	3.1	левый берег	18.5	13.9	12.6	6.8	6.0	6.4
	3.3	правый берег	18.2	14.5	11.5	6.9	6.8	6.3
р. Обь, Фоминское	4.1	левый берег	15.6	12.4	11.1	6.8	6.2	6.0
	4.2	середина	16.3	12.0	11.3	6.9	6.1	5.9
	4.3	правый берег	8.8	7.0	6.7	7.3	6.2	5.7
р. Обь, Усть-Ануй	8.1	левый берег	14.6	11.7	10.4	7.5	6.3	6.0
	8.2	середина	17.0	11.9	10.7	7.0	6.2	6.0
	8.3	правый берег	8.8	7.0	6.8	7.5	6.2	6.0
р. Обь, ниже Солдатово	10'.1	левый берег	12.8	10.1	9.5	7.0	6.2	5.8
	10'.2	середина	12.3	9.9	9.2	7.2	6.2	5.9
	10'.3	правый берег	10.4	8.3	8.0	7.5	6.4	6.0
р. Обь, выше Солдатово	10.3	правый берег	9.7	7.9	7.5	7.5	6.3	6.0
р. Чарыш	12	левый берег	11.7	8.8	8.3	7.2	6.3	6.0
р. Обь, Вяткино	13.3	правый берег	13.7	13.0	10.7	10.5	6.8	6.6
р. Обь, Рассказиха	18.3	правый берег	12.8	10.0	8.7	7.4	6.8	6.4
р. Обь, выше Усть-Чумыш	24.1	левый берег	16.1	13.9	12.6	12.8	10.9	6.9
	24.3	правый берег	15.9	12.6	12.2	8.6	8.3	6.9
р. Обь, ниже Усть-Чумыш	24'.1	левый берег	16.5	13.2	12.4	8.3	6.9	6.6
	24'.3	правый берег	16.0	13.2	13.0	7.8	6.5	6.1
р. Обь, выше Елунино	26.1	левый берег	17.2	11.0	10.0	8.1	7.5	6.7
	26.3	правый берег	14.3	10.7	10.5	7.7	6.8	6.2
р. Обь, ниже Елунино	26'.1	левый берег	19.0	14.6	14.1	8.6	6.7	6.1
	26'.3	правый берег	18.2	13.5	13.0	8.8	7.2	6.7

Концентрация хлорофилла a за время наблюдений на исследуемых створах Верхней Оби варьировала в широких пределах от 0.8 до 19.3 мг/м³ (табл. 3). Наибольшие значения $C_{chl} a$ – свыше 15.0 мг/м³ зарегистрированы на двух замыкающих створах (уровень эвтрофных водотоков), наименьшее – 0.8 мг/м³ в середине ство-

ра 4.2. р. Обь, Фоминское (уровень олиготрофных водотоков). По классификации [Трифенова, 1993] концентрации фотосинтетических пигментов в период открытой воды при среднем значении (по 10 створам) $C_{chl} a = 8.5$ мг/м³ исследуемый речной участок соответствует уровню мезотрофных водотоков.

Таблица 2

Показатель поглощения света жёлтым веществом κ_{ys} при $\lambda' = 450$ нм и концентрация жёлтого вещества C_{ys} в поверхностном слое Верхней Оби

Table 2

The coefficient of light absorption by yellow substance κ_{ys} at $\lambda' = 450$ nm and the concentration of yellow substance C_{ys} in the surface layer of the Upper Ob

Название створа	Станция	Расположение станции на створе	$\kappa_{ys}(450), м^{-1}$	$C_{ys}, г/м^3$
р. Бия, ниже г. Бийска	2.1	левый берег	6.9	32.5
	2.2	середина	6.9	32.5
	2.3	правый берег	7.3	34.4
р. Катунь, Катунское	3.1	левый берег	6.8	32.1
	3.3	правый берег	6.7	31.6
р. Обь, Фоминское	4.1	левый берег	6.6	31.1
	4.2	середина	6.7	31.6
	4.3	правый берег	6.9	32.5
р. Обь, Усть-Ануй	8.1	левый берег	7.0	33.0
	8.2	середина	6.7	31.6
	8.3	правый берег	6.9	32.5
р. Обь, ниже Солдатово	10'.1	левый берег	6.9	32.5
	10'.2	середина	7.0	33.0
	10'.3	правый берег	7.2	34.0
р. Обь, выше Солдатово	10.3	правый берег	6.8	32.1
р. Чарыш	12	левый берег	7.0	33.0
р. Обь, Вяткино	13.3	правый берег	7.6	35.8
р. Обь, Рассказиха	18.3	правый берег	6.9	32.5
р. Обь, выше Усть-Чумыш	24.1	левый берег	9.3	43.9
	24.3	правый берег	8.2	38.7
р. Обь, ниже Усть-Чумыш	24'.1	левый берег	7.2	34.0
	24'.3	правый берег	7.6	35.8
р. Обь, выше Елунино	26.1	левый берег	8.2	38.7
	26.3	правый берег	7.2	34.0
р. Обь, ниже Елунино	26'.1	левый берег	7.6	35.8
	26'.3	правый берег	9.5	44.8

В результате расчётов относительного спектрального вклада основных оптически активных компонентов речной воды для 26 разных станций на 10 исследуемых створах реки Обь получено, что максимальное влияние на суммарное ослабление света в речной воде оказывают жёлтое вещество и взвесь (табл. 4).

Наибольший вклад жёлтого вещества при $\lambda' = 430$ нм приходится на первый

створ (р. Бия, ниже г. Бийска), где он составляет 86.0%. При длине волны 550 нм вклад жёлтого вещества варьирует в пределах от 43.1% (левый берег створа р. Катунь, Катунское) до 91.0% (правый берег створа р. Бия, ниже г. Бийска). При длине волны 670 нм вклад жёлтого вещества – от 43.3% (левый берег створа р. Обь, ниже Елунино) до 89.4% (середина и правый берег створа р. Бия, ниже г. Бийска).

Таблица 3

Концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое Верхней Оби

Table 3

Chlorophyll *a* concentrations in the Upper Ob surface layer

Название створа	Станция	Расположение станции на створе	$C_{chl} a$, мг/м ³
р. Бия, ниже г. Бийска	2.1	левый берег	2.1
	2.2	середина	1.8
	2.3	правый берег	2.2
р. Катунь, Катунское	3.1	левый берег	1.3
	3.3	правый берег	1.1
р. Обь, Фоминское	4.1	левый берег	1.6
	4.2	середина	0.8
	4.3	правый берег	4.6
р. Обь, Усть-Ануй	8.1	левый берег	10.3
	8.2	середина	1.7
	8.3	правый берег	3.5
р. Обь, ниже Солдатово	10'.1	левый берег	7.8
	10'.2	середина	5.6
	10'.3	правый берег	5.8
р. Обь, выше Солдатово	10.3	правый берег	5.9
р. Чарыш	12	левый берег	16.7
р. Обь, Вяткино	13.3	правый берег	4.8
р. Обь, Рассказиха	18.3	правый берег	12.2
р. Обь, выше Усть-Чумыш	24.1	левый берег	18.5
	24.3	правый берег	16.5
р. Обь, ниже Усть-Чумыш	24'.1	левый берег	15.0
	24'.3	правый берег	15.8
р. Обь, выше Елунино	26.1	левый берег	18.6
	26.3	правый берег	19.3
р. Обь, ниже Елунино	26'.1	левый берег	16.4
	26'.3	правый берег	12.1

Взвесь даёт максимальный вклад в показатель ослабления света при $\lambda' = 430$ нм на станции 3.1 (левый берег створа р. Катунь, Катунское) и составляет 62.6%. Вклад взвеси при $\lambda' = 550$ нм находится в диапазоне от 7.5% (правый берег створа р. Обь, Усть-Ануй) до 56.4% (левый берег створа р. Катунь, Катунское). Вклад взвеси при $\lambda' = 670$ нм – от 2.7% (правый берег створа р. Бия, ниже г. Бийска) до 49.0% (левый берег створа р. Обь, ниже Елунино).

Чистая вода вносит несущественный вклад в ослабление света при $\lambda' = 430$ нм на

всех станциях и составляет не более 0.1%, но резко увеличивается в длинноволновой области спектра – до 6.6% при $\lambda' = 670$ нм.

Вклад хлорофилла *a* при $\lambda' = 430$ нм находился в диапазоне от 0.4 (середина створа р. Обь, Фоминское) до 11.4% (станция 12, р. Чарыш), при $\lambda' = 550$ нм – от 0.1% до 1.2%, при $\lambda' = 670$ нм – от 0.3% до 8.0%.

Молекулярное рассеяние света чистой водой в исследуемом спектральном интервале не вносит ощутимый вклад и составляет около 0.1%.

Таблица 4

Спектральный вклад компонентов речной воды (%) в показатель ослабления света в
поверхностном слое Верхней Оби

Table 4

Spectral contribution of river water components (%) to the light attenuation coefficient in the
Upper Ob surface layer

$\lambda', \text{ нм}$	Показатели поглощения			Показатели рассеяния	Показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda'), \text{ м}^{-1}$
	$\frac{\kappa_{pw}(\lambda')}{\varepsilon(\lambda')}$	$\frac{\kappa_{ys}(\lambda')}{\varepsilon(\lambda')}$	$\frac{\kappa_{chl}(\lambda')}{\varepsilon(\lambda')}$	$\frac{\sigma_s(\lambda') + \sigma_{mol}(\lambda')}{\varepsilon(\lambda')}$	
р. Бия, ниже г. Бийска, левый берег, станция 2.1 (при $C_{chl} = 2.1 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	86.0	1.9	12.0	8.6
550	0.8	88.4	0.2	10.6	6.9
670	6.4	88.2	1.2	4.2	6.8
р. Бия, ниже г. Бийска, середина, станция 2.2 (при $C_{chl} = 1.8 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	83.7	1.7	14.5	8.6
550	0.8	89.5	0.1	9.6	6.7
670	6.6	89.4	1.0	3.0	6.6
р. Бия, ниже г. Бийска, правый берег, станция 2.3 (при $C_{chl} = 2.2 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	84.8	2.0	13.1	8.6
550	0.8	91.0	0.1	8.1	6.7
670	6.6	89.4	1.3	2.7	6.6
р. Катунь, Катунское, левый берег, станция 3.1 (при $C_{chl} = 1.3 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	36.7	0.6	62.6	18.5
550	0.4	43.1	0.1	56.4	13.9
670	3.4	50.8	0.4	45.4	12.6
р. Катунь, Катунское, правый берег, станция 3.3 (при $C_{chl} = 1.1 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	37.9	0.5	61.5	18.2
550	0.4	46.9	0.1	52.6	14.5
670	3.8	54.8	0.4	41.0	11.5
р. Обь, Фоминское, левый берег, станция 4.1 (при $C_{chl} = 1.6 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	43.6	0.8	55.5	15.6
550	0.4	50.0	0.1	49.5	12.4
670	3.9	54.0	0.6	41.5	11.1
р. Обь, Фоминское, середина, станция 4.2 (при $C_{chl} = 0.8 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	42.3	0.4	57.2	16.3
550	0.5	50.8	0.1	48.6	12.0
670	3.8	52.2	0.3	43.7	11.3
р. Обь, Фоминское, правый берег, станция 4.3 (при $C_{chl} = 4.6 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	82.9	4.2	12.8	8.8
550	0.8	88.6	0.3	10.3	7.0
670	6.5	85.0	2.7	5.8	6.7
р. Обь, Усть-Ануй, левый берег, станция 8.1 (при $C_{chl} = 10.3 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	51.4	5.6	42.9	14.6
550	0.5	53.8	0.6	45.1	11.7
670	4.2	57.7	4.0	34.1	10.4
р. Обь, Усть-Ануй, середина, станция 8.2 (при $C_{chl} = 1.7 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	41.2	0.8	57.9	17.0
550	0.5	52.1	0.1	47.3	11.9
670	4.1	56.1	0.6	39.2	10.7
р. Обь, Усть-Ануй, правый берег, станция 8.3 (при $C_{chl} = 3.5 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	85.2	3.2	11.5	8.8
550	0.8	88.5	0.3	7.5	7.0
670	6.4	88.2	2.1	3.3	6.8
р. Обь, ниже Солдатова, левый берег, станция 10'.1 (при $C_{chl} = 7.8 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	54.6	4.8	40.5	12.8
550	0.6	61.4	0.5	37.5	10.1
670	4.6	61.0	3.3	31.1	9.5

$\lambda', \text{ нм}$	Показатели поглощения			Показатели рассеяния	Показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda'), \text{ м}^{-1}$
	$\frac{\kappa_{pw}(\lambda')}{\varepsilon(\lambda')}$	$\frac{\kappa_{ys}(\lambda')}{\varepsilon(\lambda')}$	$\frac{\kappa_{chl}(\lambda')}{\varepsilon(\lambda')}$	$\frac{\sigma_s(\lambda') + \sigma_{mol}(\lambda')}{\varepsilon(\lambda')}$	
р. Обь, ниже Солдатово, середина, станция 10'.2 (при $C_{chl} = 5.6 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	58.5	3.6	37.8	12.3
550	0.6	62.6	0.4	36.4	9.9
670	4.7	64.1	2.4	28.8	9.2
р. Обь, ниже Солдатово, правый берег, станция 10'.3 (при $C_{chl} = 5.8 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	72.1	4.5	23.3	10.4
550	0.7	77.1	0.4	21.8	8.3
670	5.4	75.0	2.9	16.7	8.0
р. Обь, выше Солдатово, правый берег, станция 10.3 (при $C_{chl} = 5.9 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	77.3	4.8	17.8	9.7
550	0.7	79.7	0.5	19.1	7.9
670	5.8	80.0	3.5	10.7	7.5
р. Чарыш, левый берег, станция 12 (при $C_{chl} = 16.7 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	61.5	11.4	27.0	11.7
550	0.6	71.6	1.2	26.6	8.8
670	5.2	72.3	8.0	14.5	8.3
р. Обь, Вяткино, правый берег, станция 13.3 (при $C_{chl} = 4.8 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	76.6	2.8	20.5	13.7
550	0.4	52.3	0.2	47.1	13.0
670	4.1	61.6	1.8	32.5	10.7
р. Обь, Рассказиха, правый берег, станция 18.3 (при $C_{chl} = 12.2 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	57.8	7.6	34.5	12.8
550	0.5	68.0	0.8	30.7	10.0
670	5.0	73.6	5.6	15.8	8.7
р. Обь, выше Усть-Чумыш, левый берег, станция 24.1 (при $C_{chl} = 18.5 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	79.5	9.1	11.3	16.1
550	0.4	78.4	0.8	20.4	13.9
670	3.4	54.7	5.8	36.1	12.6
р. Обь, выше Усть-Чумыш, правый берег, станция 24.3 (при $C_{chl} = 16.5 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	54.0	8.3	37.6	15.9
550	0.4	65.8	0.8	33.0	12.6
670	3.5	56.5	5.4	34.6	12.2
р. Обь, ниже Усть-Чумыш, левый берег, станция 24'.1 (при $C_{chl} = 15.0 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	50.3	7.3	42.3	16.5
550	0.4	52.2	0.7	46.7	13.2
670	3.5	53.2	4.8	38.5	12.4
р. Обь, ниже Усть-Чумыш, правый берег, станция 24'.3 (при $C_{chl} = 15.8 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	48.8	7.9	43.2	16.0
550	0.4	49.2	0.8	49.6	13.2
670	3.3	46.9	4.8	45.0	13.0
р. Обь, выше Елунино, левый берег, станция 26.1 (при $C_{chl} = 18.6 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	47.1	8.6	44.2	17.2
550	0.5	68.2	1.1	30.2	11.0
670	4.3	67.0	7.4	21.3	10.0
р. Обь, выше Елунино, правый берег, станция 26.3 (при $C_{chl} = 19.3 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	53.8	10.8	35.3	14.3
550	0.5	63.5	1.2	34.8	10.7
670	4.1	59.0	7.3	29.6	10.5
р. Обь, ниже Елунино, левый берег, станция 26'.1 (при $C_{chl} = 16.4 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	45.3	6.9	47.7	19.0
550	0.4	45.9	0.7	53.0	14.6
670	3.1	43.3	4.6	49.0	14.1
р. Обь, ниже Елунино, правый берег, станция 26'.3 (при $C_{chl} = 12.1 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	48.4	3.8	47.7	18.2
550	0.4	53.3	0.6	45.7	13.5
670	3.3	51.5	3.7	41.5	13.0

Таким образом, для 10 исследуемых створов реки Обь жёлтое вещество и взвесь оказались наиболее значимыми оптически активными компонентами, влияющие на суммарный показатель ослабления света.

В табл. 5 приведены уровни трофности и классы качества воды на десяти створах р. Оби за период исследования.

Согласно классификации [Трифорова, 1993], основанной на содержании хлорофилла *a*, исследованные участки Верхней Оби можно отнести к следующим уровням: эвтрофному (четыре створа), мезотрофному (пять створов), олиготрофному (один створ).

По унифицированной экологической классификации поверхностных вод суши [Оксиюк и др., 1993] речная вода на десяти створах Верхней Оби относится к разрядам от «предельно чистая», что соответствует разряду 1 до «достаточно чистая» – разряду 3а. Данные результаты подтверждают возможность использования гидрооптических и гидробиологических характеристик при исследовании крупных рек для наблюдения за неоднородностью уровня загрязнения воды, качественной оценки содержания взвешенных и растворённых веществ и, следовательно, для мониторинга экологического состояния вод различного типа.

Таблица 5

Уровни трофности и классы качества речной воды на исследуемых створах по содержанию хлорофилла *a*

Table 5

Trophicity levels and river water quality classes at the study sites by chlorophyll *a* content

Номер створа	Название створа	* $C_{chl\ a}$, мг/м ³	Уровень трофности [Трифорова, 1993]	Класс / разряд качества воды [Оксиюк и др., 1993]
1	р. Бия, ниже г. Бийска	2.0	мезотрофный	1 – предельно чистая
2	р. Катунь, Катунское	1.2	олиготрофный	1 – предельно чистая
3	р. Обь, Фоминское	2.3	мезотрофный	1 – предельно чистая
4	р. Обь, Усть-Ануй	5.2	мезотрофный	2 – чистая / 2а – очень чистая
5	р. Обь, ниже и выше Солдатово	6.3	мезотрофный	2 – чистая / 2а – очень чистая
6	р. Чарыш	16.7	эвтрофный	3 – удовлетворительной чистоты / 3а – достаточно чистая
7	р. Обь, Вяткино	4.8	мезотрофный	1 – предельно чистая
8	р. Обь, Рассказиха	12.2	эвтрофный	2 – чистая / 2б – вполне чистая
9	р. Обь, ниже и выше Усть-Чумыш	16.5	эвтрофный	3 – удовлетворительной чистоты / 3а – достаточно чистая
10	р. Обь, ниже и выше Елунино	16.6	эвтрофный	3 – удовлетворительной чистоты / 3а – достаточно чистая

Примечание: * $C_{chl\ a}$, мг/м³ – среднее значение по створу.

Заключение

На десяти участках Верхней Оби, включая устья образующих рек Бия и Катунь, в период 23–30 июня 2025 г. были проведены исследования биооптических характеристик речных вод и получены натурные данные по пространственной неоднородности в летний период спектрального показателя ослабления света, спектрального показателя поглощения света жёлтым веществом, концентраций хлорофилла *a* и жёлтого вещества.

В результате экспериментальных данных получено, что рассчитанные значения показателя ослабления света на 26 станциях Верхней Оби варьировали в диапазоне 6.6–19.0 м⁻¹, показателя поглощения света жёлтым веществом – 5.7–12.8 м⁻¹, что соответствует эвтрофному типу водотоков. Уровень трофности по средним значениям концентрации хлорофилла *a* для каждого из десяти исследуемых створов можно оха-

рактеризовать как эвтрофный (для четырёх створов), мезотрофный (для пяти створов) и олиготрофный (для одного створа). По унифицированной экологической классификации поверхностных вод суши по концентрациям хлорофилла *a* речная вода на десяти створах Верхней Оби относится к разрядам от «предельно чистая», что соответствует разряду 1 до «достаточно чистая» – разряду 3а. На основе модифицированной полуэмпирической модели ослабления света выполнен детальный анализ влияния основных оптически активных компонентов воды (чистой воды, фитопланктона, жёлтого вещества, взвеси) в суммарный показатель ослабления света, что позволило оперативно определить физические параметры отдельных компонентов речной воды – концентрацию хлорофилла *a* и жёлтого вещества, а также трофический статус и класс качества исследуемого водного объекта по его биооптическим свойствам.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Авторы выражают благодарность начальнику отряда канд. биол. наук, ст. науч. сотр. А.В. Котовицкову за организацию полевых выездов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН с использованием оборудования ЦКП НИС ИВЭП СО РАН.

Список литературы

Акулова О.Б. Разработка методов и измерительно-вычислительного комплекса для оценки экологически значимых гидрооптических характеристик пресноводных водоёмов (на примере озёр Алтайского края): Дис. ... канд. тех. наук. Барнаул, 2015. 176 с.

ГОСТ 17.1.4.02–90. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. Москва: Изд-во стандартов, 2003. С. 587–600.

Карбышев С.Ф., Павлов В.Е. Спектральная прозрачность поверхностных вод средней Оби // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13, № 2. С. 171–174.

Копелевич О.В. Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды // Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана / Ред. А.С. Монин. Москва: Наука, 1983. С. 208–235.

Котовщиков А.В., Долматова Л.А. Динамика содержания хлорофилла а в р. Обь и её связь с абиотическими факторами // Биология внутренних вод. 2018. № 1. С. 29–38.

Маньковский В.И. Жёлтое вещество в поверхностных водах восточной части Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 3. С. 53–61.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, вып. 4. С. 62–76.

Сиротский С.Е. Трофический статус водотоков бассейна рек Буряя, Зея, Бурейского и Зейского водохранилищ // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Матер. Всерос. науч.-практич. конф. (28 февраля – 03 марта 2005 г., Хабаровск). Хабаровск, 2005. С. 95–99.

Сиротский С.Е., Медведева Л.А., Пархомук Ю.В. Трофический статус некоторых водотоков бассейна реки Тимптон (Южная Якутия) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2011. № 5. С. 483–487.

Трифонов И.С. Оценка трофического статуса водоёмов по содержанию хлорофилла а в планктоне // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоёмов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 158–166.

Ярушина М.И., Мухутдинов В.Ф., Степанов Л.Н. Экологическая оценка состояния водоёмов различного типа бассейна залива Шарапов Шар по концентрации хлорофилла «а» (Средний Ямал) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 1. С. 71–88. doi:10.35567/19994508-2024-1-71-88

Akulova O.B., Bukaty V.I., Kirillov V.V. Optical characteristics of water at the mouth of the Ob River // Limnology and Freshwater Biology. 2021. 3. P. 1147–1151. doi: 10.31951/2658-3518-2021-A-3-1147

Carlson R.E. A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. 1977. Vol. 22, no. 2. P. 361–369. doi: 10.4319/lo.1977.22.2.0361

Costa M.P.F., Novo E. M.L.M., Telmer K.H. Spatial and temporal variability of light attenuation in large rivers of the Amazon // Hydrobiologia. 2013. Vol. 702 (1). P. 171–190. doi: 10.1007/s10750-012-1319-2

Davies-Colley R.J. Frequency distributions of visual water clarity in 12 New Zealand rivers // N. Z. J. Mar. Freshwater Res. 1990. Vol. 24. P. 453–460.

Davies-Colley R.J., Ballantine D., Elliott S., Swales A., Hughes A.O., Gall P.M. Light attenuation – a more effective basis for the management of fine suspended sediment than mass concentration? // Water Science & Technology. 2014. Vol. 69 (9). P. 867–1874. doi: 10.2166/wst.2014.096

Davies-Colley R.J., Vant W.N., Smith D.G. Colour and clarity of natural waters: science and management of optical water quality. New York; London: Ellis Horwood, 2003. 310 p.

Julian J.P., Doyle M.W., Powers S.M., Stanley E.H., Riggsbee J.A. Optical water quality in rivers // *Water Resources Research*. 2008. Vol. 44. W10411. P. 1–19. doi:10.1029/2007WR006457

Lobo F.L., Costa M.P.F., Novo E.M., Telmer K. Effects of small-scale gold mining tailings on the underwater light field in the Tapajós River Basin. Brazilian Amazon // *Remote Sens. Environ.* 2017. Vol. 9. 861. doi:10.3390/rs9080861

Nyquist G. Investigation of some optical properties of sea water with special reference to lignin sulfonates and humic substances: Summary of PhD thesis. Göteborg, Sweden, 1979. 200 p.

Pawlak B., Gąsowski R., Banaszak A., Andrzejewska A. Seasonal changes of light attenuation coefficient in selected points of the Oder River in the Szczecin Region. Poland // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2003. Vol. 12, no. 2. P. 221–226.

Pope R.M., Fry E.S. Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. II Integration cavity measurements // *Applied Optics*. 1997. Vol. 36, no. 33. P. 8710–8723. doi:10.1364/AO.36.008710

Smith R.C., Baker K.S. Optical properties of the clearest natural waters (200–800 nm) // *Applied Optics*. 1981. Vol. 20, no. 2. P. 177–184. doi: 10.1364/AO.20.000177

References

Akulova O.B. Razrabotka metodov i izmeritelno-vychislitelnogo kompleksa dlya otsenki ekologicheskikh znachimykh gidroopticheskikh kharakteristik presnovodnykh vodoemov (na primere ozer Altayskogo kraia) [Development of methods and a measuring and computing complex for assessing environmentally significant hydrooptical characteristics of freshwater reservoirs (using the example of lakes in the Altai Region)]: DSc (Cand. of Tech.) thesis. Barnaul, 2015. 176 p. (in Russian).

GOST 17.1.4.02–90. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla *a* [Technique of spectrophotometric determination of chlorophyll *a*]. Moscow: Izd-vo standartov, 2003. P. 587–600. (in Russian).

Karbyshev S.F., Pavlov V.E. Spektralnaya prozrachnost poverkhnostnykh vod sredney Obi [Spectral transparency of surface waters of the middle Ob] // *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean]. 2000. Vol. 13, no. 2. P. 171–174. (in Russian).

Kopelevich O.V. Maloparametricheskaya model opticheskikh svoystv morskoy vody [Low-parameter model of optical properties of seawater] // *Optika okeana*. T. 1. Fizicheskaya optika okeana [Ocean optics. Vol. 1. Physical optics of the ocean] / Ed. A.S. Monin. Moscow: Nauka, 1983. P. 208–235. (in Russian).

Kotovshchikov A.V., Dolmatova L.A. Dinamika soderzhaniya khlorofilla *a* v r. Ob i ee svyaz s abioticheskimi faktorami [Dynamics of chlorophyll *a* content in the Ob River and its

relationship with abiotic factors] // *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland Water Biology]. 2018. Vol. 11, no. 1. P. 21–28. (in Russian).

Mankovskiy V. I. Zheltoe veshchestvo v poverkhnostnykh vodakh vostochnoy chasti Tropiceskoy Atlantiki [Yellow matter in the surface waters of the eastern Tropical Atlantic] // *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal* [Marine Hydrophysical Journal]. 2015. No. 3. P. 53–61. (in Russian).

Oksiyuk O.P., Zhukinskii V.N., Braginskii L.P., Linnik P.N., Kuz'menko M.I., Klenus V.G. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushy [Complex ecological classification of surface waters quality]. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiological J.]. 1993. Vol. 29, is. 4. P. 62–76. (in Russian).

Sirotskiy S.E. Troficheskiy status vodotokov basseyna rek Bureya, Zeya, Bureyskogo i Zeyskogo vodokhranilishch [Trophic status of the watercourses of the Bureya, Zeya, Bureysky and Zeysky reservoirs] // *Nauchnye osnovy ekologicheskogo monitoringa vodokhranilishch: Mater. Vseros. nauch.-praktich. konf. (28 fevralya – 03 marta 2005 g.)* [Scientific basis of environmental monitoring of reservoirs: Mater. All-Russia. scientific-practical. conf. (February 28 – March 03, 2005)]. Khabarovsk, 2005. P. 95–99. (in Russian).

Sirotskiy S.E., Medvedeva L.A., Parkhomuk Yu.V. Troficheskiy status nekotorykh vodotokov basseyna reki Timplon (Yuzhnaya Yakutiya) [Trophic status of some watercourses of the Timplon River basin (South Yakutia)] // *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* [Readings in memory of Vladimir Yakovlevich Levanidov]. 2011. no. 5. P. 483–487. (in Russian).

Trifonova I.S. Otsenka troficheskogo statusa vodoemov po sodержaniyu khlorofilla *a* v planktone [Assessment of the trophic status of reservoirs by the content of chlorophyll in plankton] // *Metodicheskie voprosy izucheniya pervichnoy produktsii planktona vnutrennikh vodoemov* [Methodological issues of studying the primary production of plankton in inland reservoirs]. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 1993. P. 158–166. (in Russian).

Yarushina M.I., Mukhutdinov V.F., Stepanov L.N. Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya vodoemov razlichnogo tipa basseyna zaliva Sharapov Shar po kontsentratsii khlorofilla «a» (Sredniy Yamal) [Ecological assessment of the state of reservoirs of various types of the Sharapov Shar Bay basin by the concentration of chlorophyll “a” (Middle Yamal)] // *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management]. 2024. No. 1. P. 71–88. (in Russian).

Akulova O.B., Bukaty V.I., Kirillov V.V. Optical characteristics of water at the mouth of the Ob River // *Limnology and Freshwater Biology*. 2021. 3. P. 1147–1151. doi: 10.31951/2658-3518-2021-A-3-1147

Carlson R.E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22, no. 2. P. 361–369. doi: 10.4319/lo.1977.22.2.0361

Costa M.P.F., Novo E. M.L.M., Telmer K.H. Spatial and temporal variability of light attenuation in large rivers of the Amazon // *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 702 (1). P. 171–190. doi: 10.1007/s10750-012-1319-2

Davies-Colley R.J. Frequency distributions of visual water clarity in 12 New Zealand rivers // *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.* 1990. Vol. 24. P. 453–460.

Davies-Colley R.J., Ballantine D., Elliott S., Swales A., Hughes A.O., Gall P.M. Light attenuation – a more effective basis for the management of fine suspended sediment than mass concentration? // *Water Science & Technology*. 2014. Vol. 69 (9). P. 867–1874. doi: 10.2166/wst.2014.096

Davies-Colley R.J., Vant W.N., Smith D.G. Colour and clarity of natural waters: science and management of optical water quality. New York; London: Ellis Horwood, 2003. 310 p.

Julian J.P., Doyle M.W., Powers S.M., Stanley E.H., Riggsbee J.A. Optical water quality in rivers // *Water Resources Research*. 2008. Vol. 44. W10411. P. 1–19. doi:10.1029/2007WR006457

Lobo F.L., Costa M.P.F., Novo E.M., Telmer K. Effects of small-scale gold mining tailings on the underwater light field in the Tapajós River Basin. Brazilian Amazon // *Remote Sens. Environ.* 2017. Vol. 9. 861. doi:10.3390/rs9080861

Nyquist G. Investigation of some optical properties of sea water with special reference to lignin sulfonates and humic substances: Summary of PhD thesis. Göteborg, Sweden, 1979. 200 p.

Pawlak B., Gąsowski R., Banaszak A., Andrzejewska A. Seasonal changes of light attenuation coefficient in selected points of the Oder River in the Szczecin Region. Poland // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2003. Vol. 12, no. 2. P. 221–226.

Pope R.M., Fry E.S. Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. II Integration cavity measurements // *Applied Optics*. 1997. Vol. 36, no. 33. P. 8710–8723. doi:10.1364/AO.36.008710

Smith R.C., Baker K.S. Optical properties of the clearest natural waters (200–800 nm) // *Applied Optics*. 1981. Vol. 20, no. 2. P. 177–184. doi: 10.1364/AO.20.000177

OPTICAL CHARACTERISTICS OF WATER AND CHLOROPHYLL CONTENT IN THE UPPER OB AREA DURING THE OPEN WATER PERIOD

O.B. Akulova, V.I. Bukaty, V.V. Kirillov, P.A. Shipunov, V.L. Paradosky

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

*E-mail: akulova8282@mail.ru, v.bukaty@mail.ru, heller53@mail.ru, pshipunov95@gmail.com,
paradosky@mail.ru*

*Based on field data collected from June 23 to June 30, 2025 at ten selected sections of the upper reaches of the Ob River (in the area below Biysk to the village of Elunino), trophism and water quality class were assessed. The study included an analysis of the primary hydrooptic characteristics – the coefficient of light attenuation and the coefficient of light absorption by yellow substance, as well as the content of the main pigment of phytoplankton – chlorophyll *a*. The values of the spectral coefficient of light attenuation at 26 stations of the Upper Ob varied in the range of 6.6–19.0 m⁻¹, the coefficient of light absorption by yellow substance was – 5.7–12.8 m⁻¹, which corresponds to the eutrophic type of watercourses. According to the average values of chlorophyll *a* concentration, it was obtained that the studied river section (ten sections) can be attributed to the following levels of trophism: eutrophic (four sections), mesotrophic (five sections) and oligotrophic (one section). According to the integrated environmental classification of land surface water quality by chlorophyll concentrations, river water at ten sites of the Upper Ob is classified as «extremely clean» which corresponds to category 1 to «fairly clean» – category 3a. Additionally, the spectral contribution of the main optically active components of water (yellow substance, suspended substance, chlorophyll *a* and pure water) to the light attenuation coefficient for the surface layer of water on of the studied sections was assessed. It was found that the maximum contribution to the total attenuation of light is made by yellow substance and suspension.*

Keywords: Ob River; coefficient of light attenuation; coefficient of light absorption by yellow substance; optically active water components; chlorophyll; trophic status.

Received: December 12, 2025. Accepted: February 13, 2026

Сведения об авторах

Акулова Ольга Борисовна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-3677-090X. E-mail: akulova8282@mail.ru.

Букатый Владимир Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Молодежная, д. 1. ORCID: 0009-0005-1635-0704. E-mail: v.bukaty@mail.ru.

Кириллов Владимир Викторович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией водной экологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Молодежная, д. 1. E-mail: heller53@mail.ru.

Шипунов Петр Алексеевич – инженер лаборатории гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Молодежная, д. 1. E-mail: pshipunov95@gmail.com.

Парадосский Владимир Леонидович – инженер лаборатории гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Молодежная, д. 1. E-mail: paradossky@mail.ru.

Information about the authors

Akulova Olga Borisovna – PhD in Technical Sciences, research at Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya Str., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-3677-090X. E-mail: akulova8282@mail.ru.

Bukaty Vladimir Ivanovich – Dr Sc. in Physics and Mathematics, Professor, chief researcher at Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya Str., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0009-0005-1635-0704. E-mail: v.bukaty@mail.ru.

Kirillov Vladimir Viktorovich – PhD in Biology, Head of the Aquatic Ecology Laboratory of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya Str., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: heller53@mail.ru.

Shipunov Petr Alekseevich – Engineer at the Hydrobiology Laboratory of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya Str., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: pshipunov95@gmail.com.

Paradossky Vladimir Leonidovich – Engineer at the Hydrobiology Laboratory of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya Str., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: paradossky@mail.ru.

Раздел 3

Section 3

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

УДК 595.3:556.55(571.150)

**ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ЖАБРОНОГИХ РАЧКОВ
ARTEMIA PARTHENOGENETICA И *ARTEMIA TIBETIANA*
 В ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕРАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Л.В. Веснина, Д.М. Безматерных, М.В. Лассый, Ю.А. Веснин

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: artemia.vesnina@mail.ru, bezmater@iweb.ru, mihalassy@mail.ru, uav1978@mail.ru

В статье приведены результаты комплексного гидрохимического и гидробиологического исследования 10 разнотипных гипергалинных озер юга Западной Сибири, проведенного с июля по сентябрь 2025 г. Установлено, что популяции *Artemia Leach*, 1819 представлены двумя видами: *A. parthenogenetica* Barigozzi, 1974 и *A. tibetiana* (Abatzopoulos et al., 1998). Их размерно-возрастные и численные показатели зависят от ряда физических и химических факторов, выявленных на основе корреляционного индекса Спирмена: температуры рапы, минерализации рапы, водородного потенциала, окислительно-восстановительного потенциала, электропроводности, растворенного в воде кислорода, глубины облова.

Ключевые слова: артемия; популяции; цисты; размерно-возрастная структура; экологические факторы; соленые озера; рапа; минерализация.

DOI:10.24412/2410-1192-2026-18004

Дата поступления: 18.12.2025. Принята к печати: 13.02.2026

На территории юга Западной Сибири находятся уникальные гипергалинные озера различного генезиса, которые обладают высоким рекреационным и бальнеологическим потенциалом [Веснина, 2002, 2016]. Озера располагаются в зоне засушливого климата и испытывают существенный антропогенный пресс, обусловленный добычей рачка артемии и его цист в промышленных масштабах, а также рекреационным воздействием. Совокупное влияние факторов на биоту озер может привести к негативным последствиям для их экосистем вплоть до истощения запасов ценного биоресурса. Поэтому, сведения о популяциях

жаброногого рачка артемии, как основного доминанта гипергалинных озер, представляет большой интерес. Однако, до сих пор недостаточно изучена видовая принадлежность артемии гипергалинных озер сульфатных, хлоридных и гидрокарбонатных типов этого региона и влияния некоторых физических и химических факторов среды на биоту в целом. В этой связи, изучение партеногенетических и двуполых популяций *Artemia Leach*, 1819 в гипергалинных озерах, различающихся по величине солености и гидрохимическому типу, позволит установить особенности развития жаброногого рачка.

Цель исследования – изучить основные характеристики экосистем гипергалинных озер юга Западной Сибири (Алтайский край) и оценить их влияние на популяционную структуру обитающих там видов рода *Artemia*.

Материалы и методы

С июля по сентябрь 2025 г. было обследовано на юге Западной Сибири 10 гипергалинных озер: Большое Шкло (52°63' N, 79°05' E), Большое Яровое (52°52' N, 78°36' E), Кривая Пучина (52°26' N, 79°21' E), Кучукское (52°65' N, 79°75' E), Малиновое (51°70' N, 79°74' E), Малое Шкло (52°34' N, 79°02' E),

Малое Яровое (53°02' N, 79°07' E), Мормышанское (52°30' N, 81°17' E), Танатар III (51°39' N, 79°47' E), Шукыртуз (52°22' N, 79°24' E) (рис. 1).

В озерах Кучукское, Большое Яровое и Малое Яровое отбор проб проводился по транссектам всей акватории на 5, 10, и 8 станциях соответственно. На остальных озерах – по 3 станции. Отбор гидробиологических проб на численные характеристики осуществлялся ежемесячно по стандартным методикам с литоральных и глубоководных станций с помощью малой модели планктонной сети Апштейна (размер ячеи 64 мкм) [Методические указания ..., 2002; Вежновец, 2005].

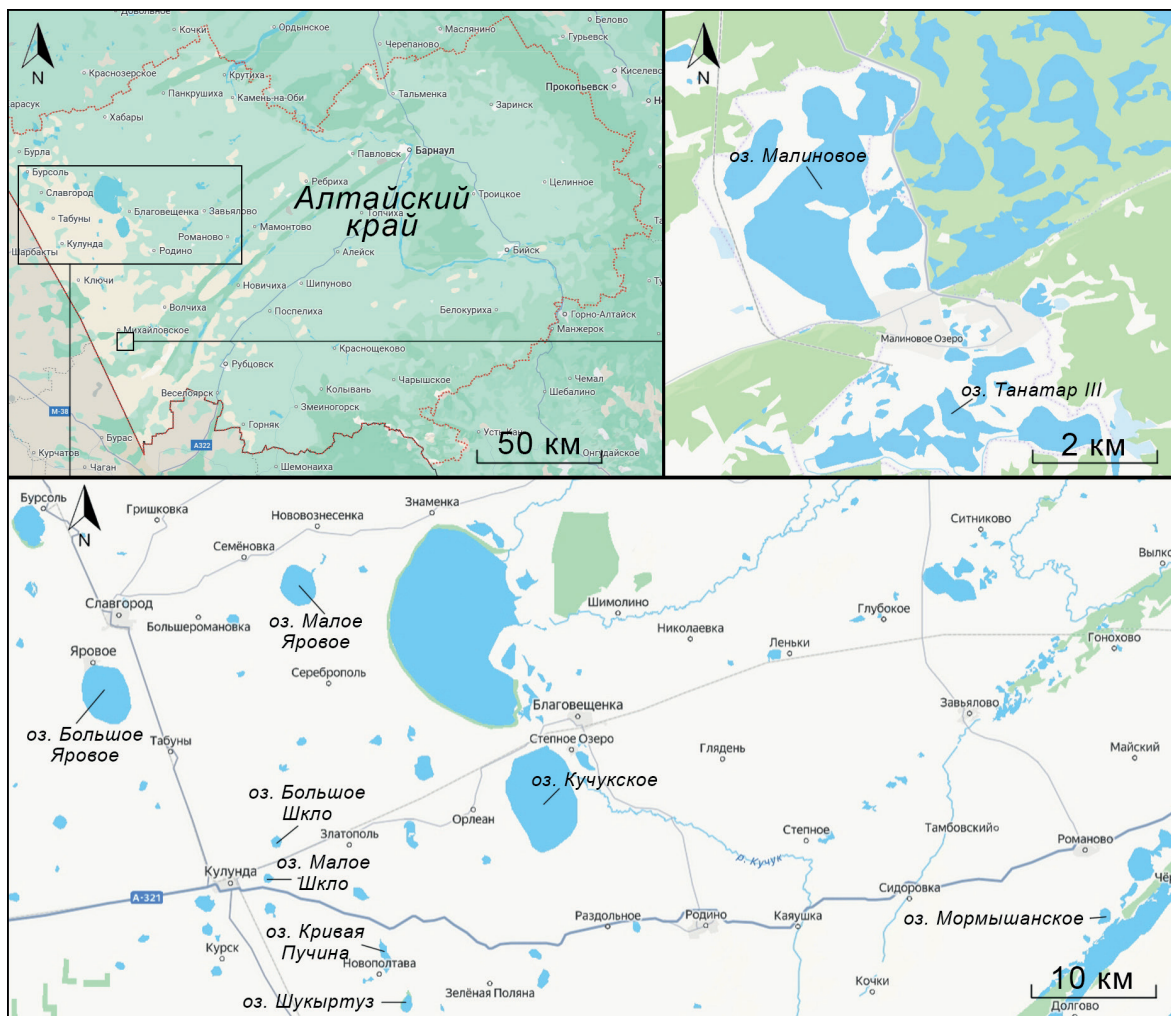


Рис. 1. Расположение изученных гипергалинных озер юга Западной Сибири
Fig. 1. The location of the studied hypersaline lakes in the south of Western Siberia

В центральной части озер отбор проб проводился тотальным методом – протяжкой со дна до поверхности воды. Пробы обрабатывали по общепринятой методике [Жадин, 1960] в камере Богорова под бинокляром МБС–10, оборудованным окуляр-микрометром. В составе популяций рачка *Artemia* spp. выделяли их размерно-возрастные стадии: ортонауплий (0.1–0.5 мм), метанауплий (0.6–3.0 мм), ювенильных (3.1–6.0 мм), предвзрослых (>6.1 мм), половозрелых самок (>6.1 мм, отмечалось наличие овисака) и самцов (>6.1 мм, отмечалось наличие увеличенных вторых антенн). Различали также летние тонкоскорлуповые яйца и диапаузирующие цисты. В характеристике структуры популяций рачка артемии использована численность всех возрастных групп: науплиальных и ювенильных стадий, предвзрослых особей, самок с яйцами, самок без яиц, самцов, цист, летних яиц. Численность разновозрастных стадий рачка артемии и цист просчитывали в 1 мл пробы в трех повторях с последующим пересчетом на весь объем пробы. Взрослых особей просчитывали в чашке Петри полностью во всей пробе [Методические рекомендации ..., 1982; Кучко и др., 2016; Кононова, Фефилова, 2018].

На каждой станции одновременно с отбором гидробиологических проб осуществлялись измерения:

- температуры воды – с помощью гидрологического термометра в поверхностном слое (на глубине не менее 0.2 м);
- солености воды – с помощью оптического прибора – портативного рефрактометра ATAGO (Kenco Instruments Co., USA)

в поверхностном слое;

- электропроводности и окислительно-восстановительного потенциала – с помощью мультифункционального тестера качества воды EZ-9908;

- растворенного в воде кислорода – с помощью портативного оксиметра DO9100;

- водородного потенциала (pH) – с помощью портативного pH-метра MW101 PRO.

Пробы воды для гидрохимического анализа отбирали стандартными методами [Руководство..., 2009, 2012] из приповерхностного слоя воды (по 1.5 л в пластиковую тару) в центральной части озера (1 проба с озера в июле 2025 г.). Камеральная обработка гидрохимических проб выполнена в Лаборатории биогеохимии ИВЭП СО РАН.

В работе приводятся результаты анализа космоснимков, полученных спутниками «Ресурс-П» №4 и «Ресурс-П» №5 по площади водной поверхности исследуемых гипергалинных озер в период с апреля по октябрь 2025 г., полученные в безоблачную погоду (уровень облачности менее 10%). Анализ проводился через открытый источник Геопортала Роскосмоса [<https://gptl.ru/>]. Объемы водных масс озер рассчитаны как произведения их площадей на средние глубины. Обработка полученных данных проводилась с помощью пакетов компьютерных программ: MS Excel – 2013 и Statistica – 10 [Халафян, 2007].

Результаты и обсуждение

Гидрохимические и морфометрические параметры озер. Все озера бессточные, собирающие грунтовые воды, за исключением озер Кучукское и Малиновое. Согласно ГОСТ 17.1.1.02-77 изученные озера по

площади водного зеркала относятся к следующим категориям: малые (менее 10 км²) – Мормышанское, Большое Шкло, Малое Шкло, Кривая Пучина, Шукыртуз; средние (от 10 до 100 км²) – Малое Яровое, Большое Яровое, Танатар III, Малиновое; большие (от 101 до 1000 км²) – Кучукское.

Естественные колебания площади водного зеркала в течение сезона зависит от количества осадков и солнечной инсоляции [Веснина, 2002]. За период исследований

2025 г. площадь водного зеркала с мая по сентябрь изменялась в сторону уменьшения в большинстве озер, за исключением площади озера Мормышанское (табл. 1). Однако, в оз. Мормышанское, несмотря на изменение площади к сентябрю, глубины остались такими же из-за активного выпадения сульфатов в осадок. По другим озерам глубины и объемы водной массы синхронно уменьшаются в соответствии с уменьшением их площадей.

Таблица 1
Морфометрические характеристики и объемы водной массы изученных озер, 2025 г.

Table 1

Morphometric characteristics and water volumes of the studied lakes, 2025

Озеро	Дата, месяц	Площадь, км ²	Максимальная глубина, м	Объем, млн м ³
Большое Шкло	10.04	3.6	2.0	4.7
	20.05	3.5	1.8	4.5
	17.09	3.5	1.9	4.6
Большое Яровое	10.04	74.2	10.5	541.9
	17.09	74.2	10.5	541.5
Кривая Пучина	17.06	7.4	0.5	2.9
	20.09	6.8	0.4	2.7
Кучукское	19.05	175.7	2.9	386.5
Малиновое	26.04	11.1	1.7	14.4
	17.06	11.0	1.7	14.3
	16.09	11.0	1.5	13.2
	25.09	11.0	1.5	13.2
Малое Шкло	10.04	2.5	1.3	1.3
	20.05	2.1	1.1	1.1
	17.09	2.1	1.1	1.1
Малое Яровое	12.06	36.4	4.9	109.2
	16.09	37.1	4.0	107.7
Мормышанское	01.08	5.9	0.9	3.5
	25.09	6.0	0.9	3.6
Танатар III	26.04	0.9	1.9	0.8
	22.05	1.0	1.9	0.9
	07.08	0.8	1.9	0.8
	16.09	0.8	1.9	0.7
Шукыртуз	17.06	5.5	0.9	3.3
	20.09	5.2	0.9	3.1

Изученные озера по величине минерализации рапы относятся к гипергалинным [Алекин, 1970], или к ультрагалинным водоемам [Оксиюк и др., 1993]. Динамика величины минерализации рапы колебалась от 80.0 (оз. Большое Шкло) до 249.2 г/л (оз. Кучукское). По преобладающим анионам гипергалинные озера относятся к 3 типам [Никоноров, 1989]: гидрокарбонатные (Танатар III), сульфатные (Мормышанское) и хлоридные (Большое Шкло, Большое Яровое, Кривая Пучина, Кучукское, Малиновое, Малое Шкло, Малое Яровое, Шукуртуз).

Для развития популяций рачка артемии важное значение имеет соотношение главных ионов, особенно K^+Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} . В таблице 2 показано соотношение основных ионов в рапе изученных озер. Следует отметить, что концентрация Ca^{2+} в большинстве озер превышала концентрацию Mg^{2+} . Значительный разброс данных по соотношению ионов в водоемах характерен и для других ионов, за исключением $Ca^{2+}/$

(K^+Na^+). Многие ионы обладают противоположным действием (ионы-антагонисты), так Ca^{2+} уплотняет клеточную оболочку, а Na^+ , наоборот, увеличивает его проницаемость. Особое значение в гипергалинных озерах юга Западной Сибири имеет Mg^{2+} , который, часто заменяя Ca^{2+} в клеточных оболочках, входит в состав хитина ракообразных и в состав соединений, обладающих ферментативной активностью [Соловов, Студеникина, 1990]. Однако, А.Ф. Карпевич [1975] показала, что стимулирующая роль магния проявляется только при его концентрации порядка 5.0–7.5 г/л и при содержании более 15 г/л происходит угнетение жизненных функций рачков. По нашим данным содержание Mg^{2+} колебалось от 0.1 (оз. Танатар III) до 7.5 (оз. Большое Яровое).

Вода исследуемых озер сульфатного и хлоридного типов по величине водородного потенциала была нейтральной – слабощелочной (pH = 7.5–8.8), а гидрокарбонатного типа – щелочной, pH = 9.8 (табл. 3).

Таблица 2

Соотношение некоторых ионов в воде (рапе) исследованных озер, 10.07–15.07.2025

Table 2

The ratio of some ions in the water (brine) of the studied lakes, 10.07–15.07.2025

Озеро	Общая минерализация, г/л	$\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+}}$	$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}$	$\frac{Ca^{2+}}{Na^+ + K^+}$
Большое Шкло	65.7	31.8	4.8	0.002
Большое Яровое	149.8	14.78	37.8	0.011
Кривая Пучина	101.2	11.0	14.9	0.007
Кучукское	210.9	0.3	45.1	0.061
Малиновое	188.2	17.9	31.3	0.001
Малое Шкло	45.9	5.9	1.8	0.002
Малое Яровое	179.5	0.2	54.0	0.074
Мормышанское	206.9	3.7	0.5	0.004
Танатар III	161.6	4.1	3.7	0.0003
Шукуртуз	177.5	0.1	35.3	0.110

Таблица 3

Физические и химические показатели воды исследованных озер, 2025 г.

Table 3

Physical and chemical parameters of the water of the studied lakes, 2025

Месяц	Температура, °C	Окислительно-восстановительный потенциал, mV	Электропроводность, mS/cm	Растворенный кислород, мг/л	pH	Соленость, г/л
оз. Большое Шкло						
Июль	24.7	164.7	110.0	9.5	8.7	80.0
Август	19.9	231.0	111.0	7.4	8.7	90.0
Сентябрь	16.1	50.3	112.3	10.5	8.5	91.3
оз. Большое Яровое						
Июль	23.7	89.3	176.7	8.2	7.9	150.0
Август	21.3	278.3	175.0	6.4	7.9	146.7
Сентябрь	16.8	51.6	196.6	9.2	7.4	159.1
оз. Кривая Пучина						
Июль	21.9	224.0	143.0	8.4	8.4	120.0
Август	19.4	282.0	167.0	11.6	8.3	150.0
Сентябрь	18.3	51.7	164.0	10.2	8.3	141.6
оз. Кучукское						
Июль	25.9	88.7	225.0	7.5	7.6	233.3
Август	26.8	225.0	226.0	6.7	7.5	235.0
Сентябрь	11.7	188.8	232.2	11.3	7.7	249.2
оз. Малиновое						
Июль	23.4	202.3	188.3	8.4	8.4	160.0
Август	18.1	270.0	217.0	9.4	8.4	175.0
Сентябрь	13.7	16.5	209.5	8.8	8.4	175.7
оз. Малое Шкло						
Июль	24.4	74.0	138.0	12.9	8.8	110.0
Август	19.5	230.0	145.0	7.6	8.8	140.0
Сентябрь	17.9	62.0	151.0	11.1	8.8	135.0
оз. Малое Яровое						
Июль	27.0	89.3	169.3	8.4	7.8	152.0
Август	25.6	270.0	209.0	6.2	7.8	168.0
Сентябрь	15.4	113.2	212.9	5.8	8.0	179.6
оз. Мормышанское						
Июль	23.7	97.0	165.2	10.4	8.3	190.0
Август	25.0	56.0	165.0	6.4	8.2	202.5
Сентябрь	12.5	57.0	172.0	>14.0	8.3	160.0
оз. Танатар III						
Июль	19.1	132.0	105.0	8.6	9.8	100.0
Август	16.6	180.0	112.0	7.6	9.7	120.0
Сентябрь	12.6	79.0	109.7	9.9	9.8	115.0
оз. Шукыртуз						
Июль	20.8	234.7	204.0	7.3	7.7	200.0
Август	20.0	290.0	205.0	10.5	7.7	208.0
Сентябрь	17.5	60.3	220.3	8.8	7.5	220.0

Содержание растворенного в воде кислорода за период исследований колебалось в июле от 6.2 (оз. Большое Яровое) до 14.0 мг/л (оз. Малое Шкло). Диапазон колебаний в августе составил от 6.2 (оз. Малое Яровое) до 11.6 мг/л (оз. Кривая Пучина); в сентябре – от 5.3 (оз. Малое Яровое) до >14.0 мг/л (оз. Мормышанское). По всей

вероятности, сверхвысокие концентрации кислорода в некоторых озерах (14.0 мг/л и более) были получены ошибочно и обусловлены влиянием высокой минерализации рапы на электрод прибора. Температура рапы в июле изменялась от 19.1 (оз. Танатар III) до 27.0°C (оз. Малое Яровое); в августе – от 16.6 (оз. Танатар III) до 26.8°C (оз. Кучукское); в сентябре – от 11.7 (оз. Кучукское) до 18.3°C (оз. Кривая Пучина). Окислительно-восстановительный потенциал в исследованный период колебался в июле от 74.0 (оз. Малое Шкло) до 224.0 mV (оз. Кривая Пучина); в августе – от 56.0 до 282 mV (оз. Кривая Пучина); в сентябре – от 16.5 (оз. Малиновое) до 188.8 mV (оз. Кучукское). Показатели электропроводности в июле составляли 105.0 (оз. Танатар III) – 225.0 mS/cm (оз. Кучукское); в августе – 111.0 (оз. Большое Шкло) – 226.0 mS/cm (оз. Кучукское); в сентябре – 109.7 (оз. Танатар III) – 232.2 mS/cm (оз. Кучукское).

*Функциональные характеристики рачка артемии *A. parthenogenetica* и *A. tibetiana*.* В 2025 г. использование ДНК-баркодинга позволило определить в изученных гипергалинных озерах юга Западной Сибири *A. parthenogenetica*. Однако, также были обнаружены двуполые популяции, некоторые из которых принадлежат к виду *A. tibetiana*. Ранее *A. tibetiana* из этих озер была определена как *A. sp.* [Веснина и др., 2025]. Для многих партеногенетических и двуполых популяций видовой статус пока достоверно не установлен [Gajardo et al., 2002; Van Stappen et al., 2009; Shadrin, Anufrieva, 2012; Litvinenko et al., 2015; Литвиненко и др., 2018; Asem et al., 2023].

В связи с высокой минерализацией воды, в зоопланктоне озер доминировали жаброногие рачки *Artemia* spp. В сульфатном озере и большинстве хлоридных развивалась *Artemia parthenogenetica* Barigozzi, 1974 (Большое Шкло, Большое Яровое, Кривая Пучина, Кучукское, Малиновое, Малое Яровое, Мормышанское, Шукыртуз); в хлоридном и гидрокарбонатном озерах – *A. tibetiana* (Abatzopoulos et al., 1998) (Малое Шкло, Танатар III).

Популяция артемии представлена разновозрастными стадиями развития, включая науплиусы, ювенильные стадии, предвзрослые и взрослые особи. Соотношение их по месяцам в модельных озерах (Мормышанское, Кучукское, Малое Яровое, Танатар III) носят различный характер. В оз. Мормышанское в популяциях *A. parthenogenetica* преобладали следующие возрастные стадии: в июле – науплиусы (83.82%); в августе – предвзрослые рачки (51.23%); в сентябре – взрослые самки (58.97%) (рис. 2). Меньше всего наблюдалось развитие: предвзрослых особей в июле и сентябре – 0.10% и 2.56% соответственно; ювенильных – в августе (9.09%). Развитие науплиусов в августе не зарегистрировано.

В оз. Кучукское в июле преобладали науплиусы (71.30%); в августе и сентябре – взрослые самки (51.24% и 71.24% соответственно). Меньше всего наблюдалось развитие предвзрослых рачков в июле и августе (1.45% и 48.76% соответственно), в сентябре науплиусы составляли 4.87%. В августе науплиальных и ювенильных стадий не было отмечено.

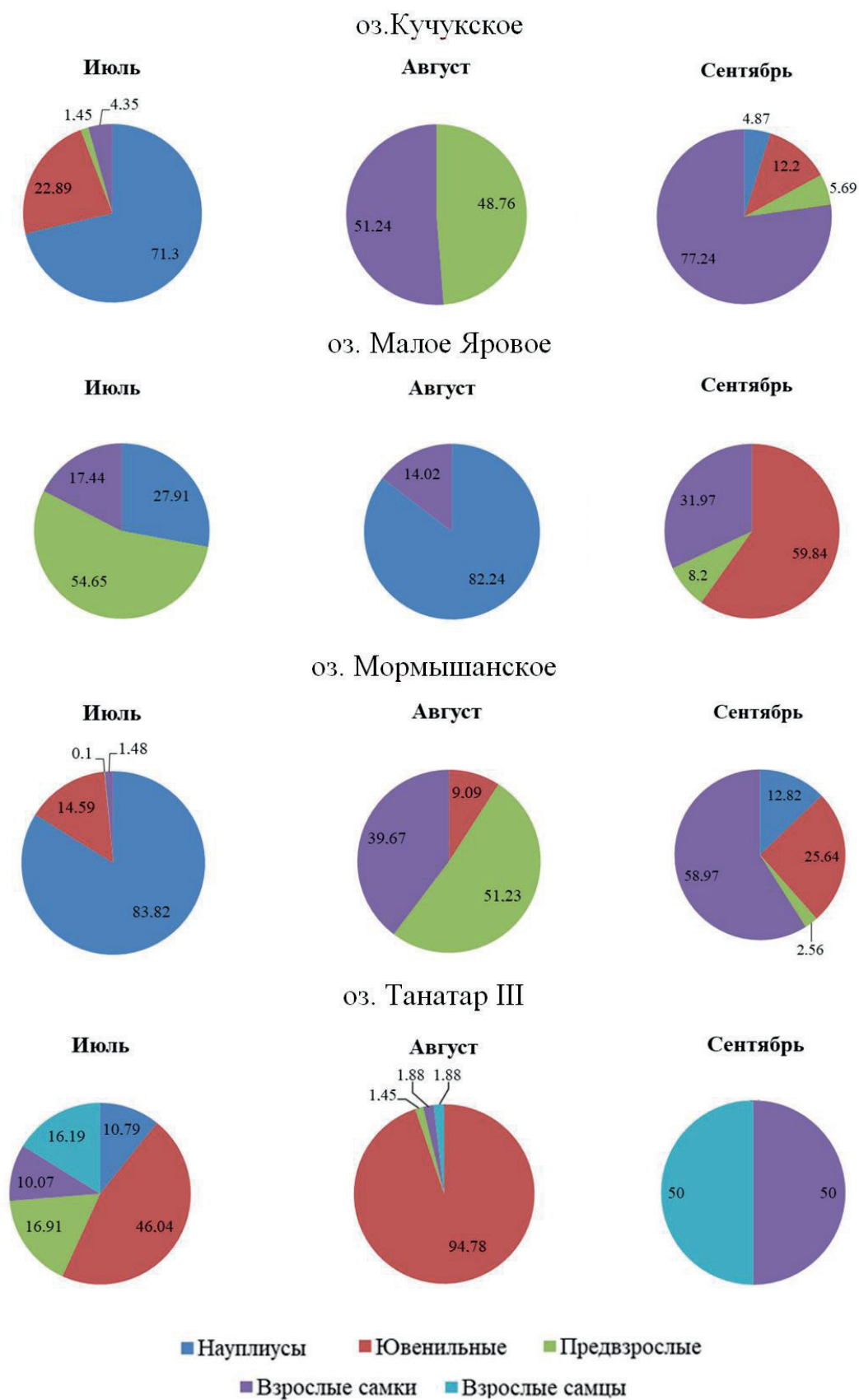


Рис. 2. Соотношение разновозрастных стадий рачка *Artemia* spp. в модельных озерах (%), июль – сентябрь 2025 г.

Fig. 2. The ratio of the different age stages of the crustacean *Artemia* spp. in model lakes (%), July – September 2025

В оз. Малое Яровое в июле на долю предвзрослых рачков приходилось 54.65%; в августе науплиусы составляли 82.24%; в сентябре – ювенильные 59.84%. Меньше всего наблюдалось развитие взрослых самок в июле и августе (17.44% и 14.02% соответственно), в сентябре – предвзрослых стадий рачка (8.20%). В июле в составе зоопланктона отсутствовали ювенильные стадии рачка, в августе – ювенильные и предвзрослые стадии, в сентябре – науплиальные стадии.

В оз. Танатар III в июле и августе высокие значения приходились на долю ювенильных стадий развития (46.04 и 94.78% соответственно), в сентябре – взрослых самок и самцов (по 50.0%). Меньше всего наблюдалось развитие взрослых самок в июле (10.07%), августе – предвзрослых особей (17.45%). В августе было зарегистрировано отсутствие науплиальных ста-

дий. В сентябре были отмечены взрослые самки и самцы рачка артемии.

Наибольшая численность рачка *A. parthenogenetica* в оз. Мормышанское наблюдалась в июле 2025 г. (4.04 ± 0.93 тыс. экз./м³), наименьшая – в сентябре (0.78 ± 0.08 тыс. экз./м³) (рис. 3). В оз. Малое Яровое, наоборот, наибольшее ее значение было характерно в сентябре (1.22 ± 0.17 тыс. экз./м³), наименьшее – в июле (0.86 ± 0.15 тыс. экз./м³). В озерах Кучукское (*A. parthenogenetica*) и Танатар III (*A. tibetiana*) наибольшая численность рачка была отмечена в августе (4.82 ± 0.00 и 20.69 ± 6.01 тыс. экз./м³, соответственно), наименьшая – в сентябре (1.23 ± 0.21 и 0.006 ± 0.003 тыс. экз./м³, соответственно).

Все изученные популяции *A. parthenogenetica* были представлены преимущественно женскими особями, мужские встречались единично.

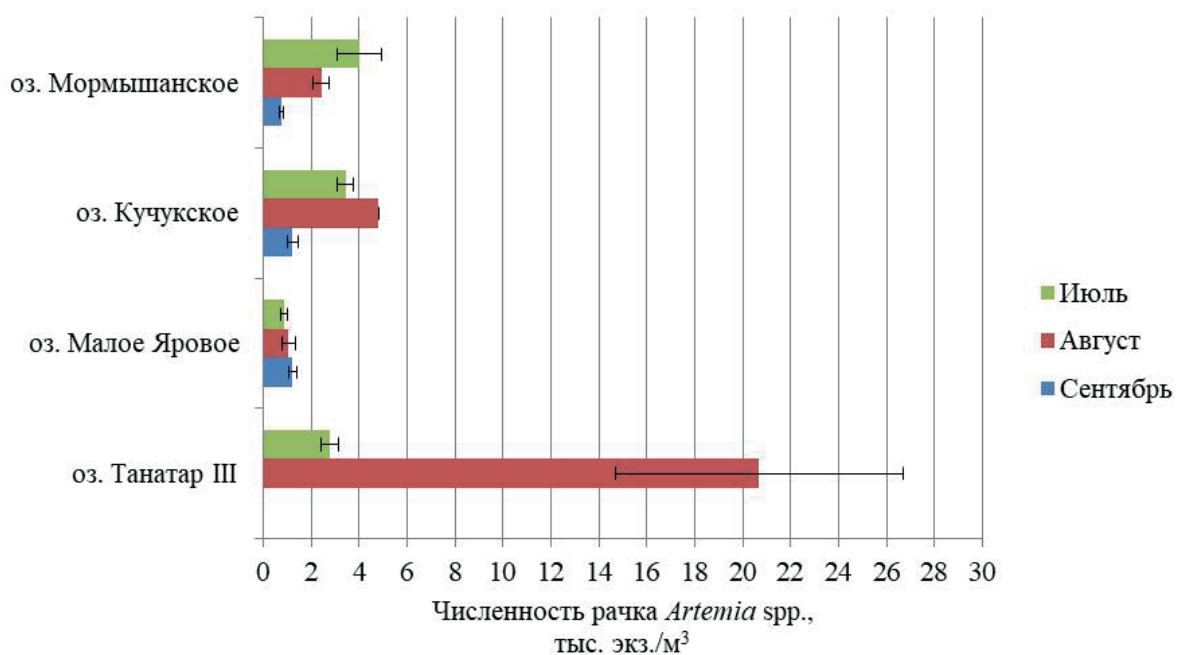


Рис. 3. Численность разновозрастных рачков *Artemia* spp. в модельных озерах ($\pm$ SE), июль–сентябрь 2025 г.

Fig. 3. The abundance of crustaceans *Artemia* spp. of different ages in model lakes ($\pm$ SE), July–September 2025

В период с июля по сентябрь возрастная структура рачка *A. parthenogenetica* преимущественно была представлена всеми стадиями развития: науплиусами, ювенильными стадиями, предвзрослыми и взрослыми особями. Численность **науплиусов** с июля по сентябрь незначительно изменялась (3.61 ± 2.32 , 4.11 ± 2.42 и 2.16 ± 1.87 тыс. экз./м³, соответственно) (рис. 4), а динамика численности **ювенильных стадий** в июле и августе составляла 14.54 ± 10.90 и 10.05 ± 3.35 тыс. экз./м³, соответственно, но значительно уменьшалась к сентябрю до 0.82 ± 0.25 тыс. экз./м³.

Численность **предвзрослых особей**, как и в случае с науплиусами, не имела значительного отличия в течение периода (0.38 ± 0.13 – июль, 0.64 ± 0.22 – август и 0.25 ± 0.06 – сентябрь тыс. экз./м³). Диапазон численности **взрослых самок** в июле и августе составлял 0.33 ± 0.19 и 0.55 ± 0.17 тыс. экз./м³, соответственно, но наибольший пик их развития наблюдался в сентябре – 1.56 ± 0.42 тыс. экз./м³.

Artemia tibetiana представлена двумя популяциями с присутствием в составе зоопланктона женских и мужских особей.

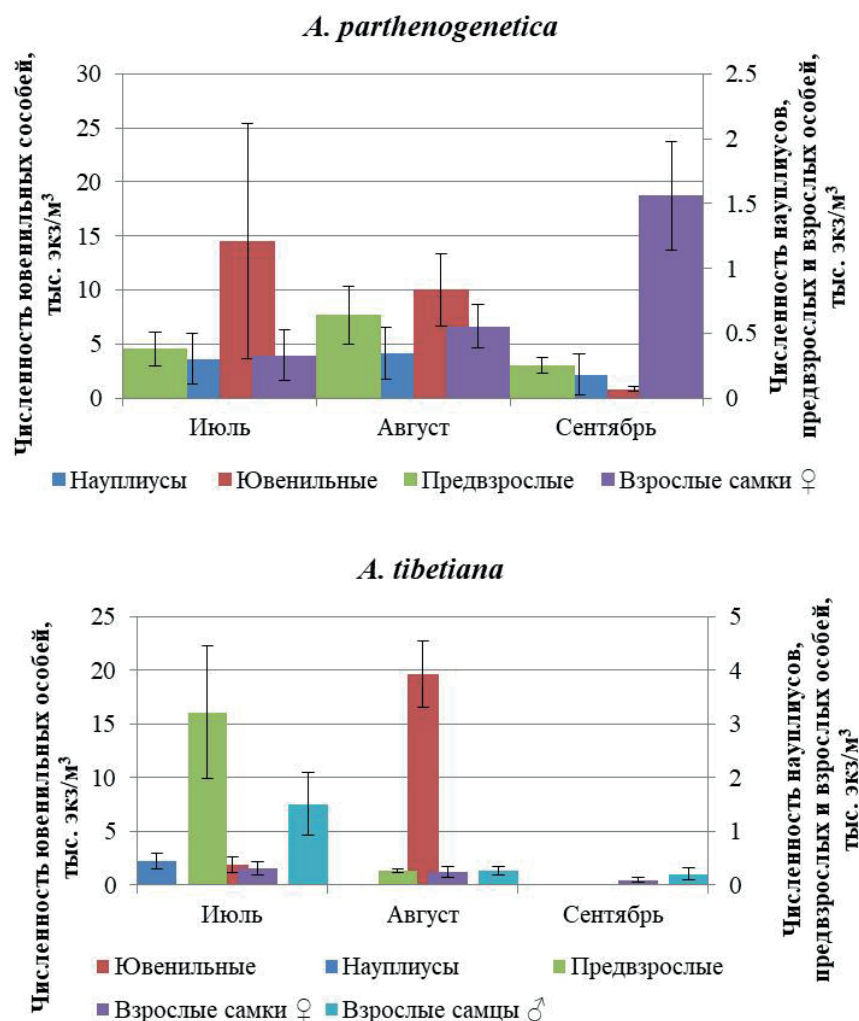


Рис. 4. Численность разновозрастных рачков *A. parthenogenetica* и *A. tibetiana* ($\pm$ SE), июль–сентябрь 2025 г.

Fig. 4. The abundance of *A. parthenogenetica* and *A. tibetiana* crustaceans of different ages ($\pm$ SE), July–September 2025

В отличие от *A. parthenogenetica*, возрастная структура этих популяций некоторые особенности в период исследований: отсутствие **науплиусов** в августе и сентябре (численность в июле их составляла 0.44 ± 0.15 тыс. экз./м³), а также отсутствие ювенильных и предвзрослых особей в сентябре. Пик развития **ювенильных стадий** с июля по август увеличился с 1.92 ± 0.74 до 19.62 ± 3.10 тыс. экз./м³. Численность **предвзрослых особей** в этот же период, наоборот, уменьшилась с 3.22 ± 1.24 до 0.27 ± 0.04 тыс. экз./м³. Численность **взрослых самок** была незначительной: июль – 0.31 ± 0.12 , август – 0.24 ± 0.10 и сентябрь – 0.10 ± 0.04 тыс. экз./м³. Развитие **взрослых самцов** с максимальным значением численности было отмечено в июле, составляя 1.51 ± 0.59 тыс. экз./м³. В августе и в сентябре, это значение уменьшилось до 0.27 ± 0.08 и 0.21 ± 0.12 тыс. экз./м³, соответственно.

Максимальная численность цист *A. parthenogenetica* приходилась на август (79.00 ± 42.20 тыс. экз./м³) (рис. 5) и сентябрь (89.09 ± 22.43 тыс. экз./м³), что выражалось в образовании их скоплений в промышленных масштабах этого биоресурса на озерах Большое Шкло, Большое Яровое, Кривая Пучина, Кучукское, Малиновое, Малое Яровое, Мормышанское, Шукуртуз. В июле

отмечались незначительные численные величины цист – 11.79 ± 2.26 тыс. экз./м³.

Высокие показатели численности цист *A. tibetiana* были зарегистрированы в июле (28.73 ± 20.98 тыс. экз./м³) и сентябре (56.62 ± 26.60 тыс. экз./м³), что также выражалось в образовании промысловых скоплений этого биоресурса в озерах Малое Шкло, Танатар III. Минимальные численные значения цист этого вида отмечались в августе (8.37 ± 3.82 тыс. экз./м³). Первое поколение рачка артемии достигло генеративной стадии развития в июле.

Среди исследуемых модельных озер самая высокая биомасса цист рачка *A. parthenogenetica* была отмечена в сентябре в оз. Малое Яровое (0.76 ± 0.33 г/м³), самая низкая биомасса цист *A. tibetiana* была отмечена в августе в оз. Танатар III (0.08 ± 0.03 г/м³).

Влияние абиотических факторов на функциональные характеристики. На основе корреляционного анализа по индексу Спирмена выявлены факторы, влияющие на численность рачка артемии и его различных возрастных стадий. На **партеногенетические популяции** (*A. parthenogenetica*) оказывают статистически значимое воздействие ($p < 0.05$):

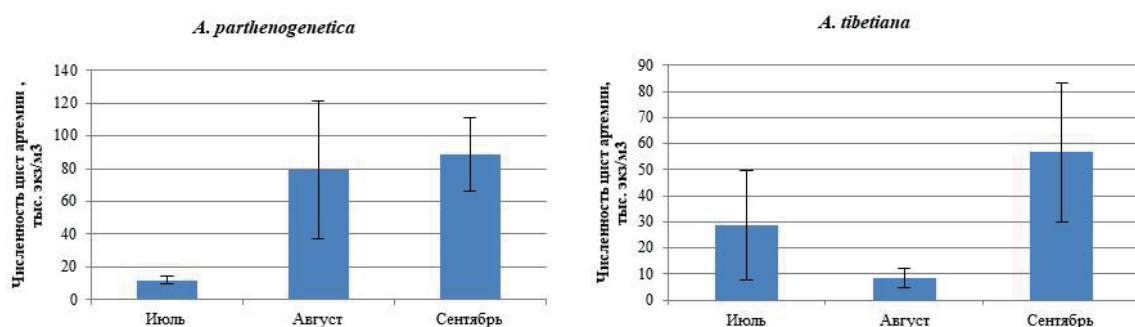


Рис. 5. Численность цист артемии *A. parthenogenetica* и *A. tibetiana* ($\pm$ SE), июль–сентябрь 2025 г.
Fig. 5. The abundance of artemia cysts of *A. parthenogenetica* and *A. tibetiana* ($\pm$ SE), July–September 2025

- температура рапы: положительная средняя связь с численностью науплиусов ($r = 0.42$) и слабая с численностью предвзрослых особей ($r = 0.25$);

- водородный потенциал (pH): слабая отрицательная связь с численностью взрослых самок ($r = -0.34$);

- глубина облова: положительная средняя связь с численностью взрослых самок ($r = 0.53$) и цист ($r = 0.64$), слабая связь с численностью предвзрослых особей ($r = 0.33$);

- окислительно-восстановительный потенциал: слабая положительная связь с численностью науплиусов ($r = 0.27$);

- электропроводность: слабая отрицательная связь с численностью предвзрослых особей ($r = -0.28$);

- содержание ионов Mg^{2+} : сильная положительная связь с численностью ювенильных стадий ($r = 0.77$).

На **двуполые популяции** (*A. tibetiana*), в свою очередь, оказывают статистически значимое воздействие ($p < 0.05$):

- температура рапы: положительная сильная связь с численностью предвзрослых особей ($r = 0.79$) и взрослых самцов ($r = 0.67$);

- растворенный в воде кислород: средняя отрицательная связь с численностью ювенильных стадий ($r = -0.55$);

- электропроводность: средняя отрицательная связь с численностью науплиусов ($r = -0.59$);

- общая минерализация: средняя отрицательная связь с численностью науплиусов ($r = -0.55$).

В настоящее время основные промысловые озера РФ (Большое Яровое, Медве-

жье, Малое Яровое, Эбейты, Кулундинское и Кучукское) производят 83% всех добываемых в стране цист рачка артемии. Самое большое озеро – Кулундинское, а к наиболее продуктивным относится оз. Большое Яровое с средней годовой продуктивностью 54 кг/га биосырья, несколько ниже продуктивность в оз. Медвежье (26 кг/га), оз. Малое Яровое и Эбейты (16 и 14 кг/га, соответственно) [Van Stappen et al., 2024].

Наиболее нестабильные биотопы со значительными межгодовыми колебаниями солености характерны для оз. Кулундинское и Эбейты. В разные годы этот показатель может колебаться в 4–5 раз, в остальных озерах флуктуация ниже – в 1.5–3 раза.

Следует учитывать, что поскольку исследованные озера расположены на обширной территории, вытянутой с севера на юг, то они имеют несколько различную сезонную динамику температуры, которая, как было показано, во многом определяет жизненный цикл артемии в конкретном водоеме. В частности, ранее было установлено, что климатические условия и межгодовые колебания температуры рапы, влияют на количество поколений артемии (от одного до четырех), что отражается на плодовитости самок в течение всей жизни и продуктивности биосырья исследуемых водоемов [Веснина, 2016].

Заключение

Изученные в 2025 г. гипергалинные водоемы Алтайского края по площади водного зеркала относятся к категории малых (5 озер), средних (7) и больших (1). В большинстве озер площадь водного зеркала в течение периода исследований (с мая

по сентябрь) уменьшалась. Все озера по величине минерализации рапы относятся к гипергалинным. По преобладающим анионам они относятся к 3 типам: гидрокарбонатные (1 озеро), сульфатные (1) и хлоридные (8). Вода озер сульфатного и хлоридного типов по величине рН была нейтральной – слабощелочной, а гидрокарбонатного типа – щелочной. Концентрация растворенного кислорода в воде всех озер была достаточно высокой, а окислительно-восстановительный потенциал – положительным. Температурный режим определялся климатом и погодными условиями региона исследований.

На основе результатов статистической обработки полученных данных определены основные факторы, влияющие на численность рачка артемии и его различных возрастных стадий. На популяции *A. parthenogenetica* значимо влияют: температура рапы, рН, глубина, окислительно-восстановительный потенциал, величина солености воды (по электропроводности), содержание ионов Mg^{2+} ; а на популяции *A. tibetiana*: температура рапы, растворенный в воде кислород, величина солености воды (по электропроводности и общей минерализации).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (проект №25-26-00148 «Биологические ресурсы жаброногого рачка артемии в Алтайском крае: таксономический статус, биология, экология, продукционные характеристики и хозяйственное значение»).

Список литературы

- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
- Вежновец В.В. Ракообразные (Cladocera, Sclerozoa) в водных экосистемах Беларуси. Каталог. Определительные таблицы. Минск: Белорусская наука, 2005. 150 с.
- Веснина Л.В. Зоопланктон озерных экосистем равнины Алтайского края. Новосибирск: Наука, 2002. 158 с.
- Веснина Л.В. Факторы, определяющие продуктивность гипергалинных озер // Современное состояние водных биоресурсов: Материалы IV Междунар. конф. (10–11 ноября 2016 г., Россия). Новосибирск, 2016. С. 32–37.
- Веснина Л.В., Безматерных Д.М., Лассый М.В., Веснин Ю.А., Рябова К.К., Уварова О.В. Морфометрические характеристики и ДНК-баркодирование жаброногих ракообразных рода *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) озер Кулундинской низменности Алтайского края // Биология внутренних вод. 2025. Т. 18, № 5. С. 794–804. doi: 10.31857/S0320965225050038
- Геопортал Роскосмоса [Электронный ресурс]. URL: <https://gptl.ru/> (дата обращения: 25.11.2025)
- ГОСТ 17.1.1.02-77. Классификация водных объектов. М: Издательство стандартов, 1977. 9 с.

Жадин В.И. Методы гидробиологического исследования. М.: Высшая школа, 1960. 188 с.

Карпевич А.Ф. Теория и практика акклиматизации водных организмов. М.: Пищевая промышленность, 1975. 432 с.

Кучко Я.А., Ильмаст Н.В., Кучко Т.Ю. Методы сбора и обработки проб зоопланктона на пресноводных водоемах: учебное пособие для студентов эколого-биологического и агротехнического факультетов. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2016. 26 с.

Кононова О.Н., Фефилова Е.Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона европейского севера России. Сыктывкар, 2018. 152 с.

Литвиненко Л.И., Бойко Е.Г., Куцанов К.В., Герасимов А.Г., Разова Л.Ф., Побединцева М.А., Литвиненко А.И. К вопросу идентификации популяционной принадлежности артемии водоемов России по цистам // Вестник рыбохозяйственной науки. 2018. Т. 5, № 1. С. 4–25.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1982. 55 с.

Методические указания по определению общих допустимых уловов (ОДУ) цист жаброногого рачка *ARTEMIA*. Тюмень, 2002. 25 с.

Никоноров А.М. Справочник по гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 91 с.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1 / Ред. Л. В. Боева. Ростов-на-Дону, 2009. 1150 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 2 / Ред. Л. В. Боева. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. 720 с.

Соловов В.П., Студеникина Т.Л. Рачок артемия в озерах Западной Сибири. Новосибирск: Наука. 1990. 80 с.

Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. М: ООО «Бином-Пресс», 2007. 512 с.

Asem A., Yang C., Eimanifar A., Hontoria F., Varo I., Mahmoudi F., Fu C.Z., Shen C.-Y., Rastegar-Pouyani N., Wang P.Z., Li W., Yoa L., Meng X., Dan Y.T., Rogers D.D., Gajardo G. Phylogenetic analysis of problematic Asian species of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea, Anostraca), with the descriptions of two new species // Journal of Crustacean Biology. 2023. Vol. 43: P. 1–25. doi: 10.1093/jcbiol/ruad002

Gajardo G., Abatzopoulos T. J., Kappas I., Beardmore J. A. Evolution and speciation // *Artemia*. Basic and Applied. Dordrecht; Netherlands: Springer., 2002. P. 225.

Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boiko E.G., Kutsanov K. *Artemia* cyst production in

Russia // Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2015. Vol. 33, no. 6. P. 1436–1450. doi: 10.1007/s00343-015-4381-6

Shadrin N., Anufriieva E. Review of the biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Russia // International Journal of Artemia Biology, 2012. Vol. 2, no.1. P. 51–61.

Van Stappen G., Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boyko E.G., Marden B. & Sorgeloos P. A survey of *Artemia* resources of Southwest Siberia (Russian Federation) // Reviews in Fisheries Science. 2009. Vol. 17, no. 1. P. 117–148. doi:10.1080/10641260802590095

Van Stappen G., Sorgeloos P., Rombaut G. Manual on *Artemia* production and use // FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers. No. 702. Rome, 2024. 192 p. doi: 10.4060/cd0313en

References

Alekin O.A. Osnovy gidrohimii [Fundamentals of hydrochemistry]. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p. (in Russian).

Vezhnovec V.V. Rakooobraznye (Cladocera, Copepoda) v vodnyh jekosistemah Belarusi. Katalog. Opredelitel'nye tablicy [Crustaceans (Cladocera, Copepoda) in aquatic ecosystems of Belarus. Catalog. Defining tables]. Minsk: Belorusskaja nauka, 2005. 150 p.

Vesnina L.V. Zooplankton ozernyh jekosistem ravniny Altajskogo kraja [Zooplankton of lake ecosystems of the Altai krai plain]. Novosibirsk: Nauka, 2002. 158 p. (in Russian).

Vesnina L.V. Faktory, opredel'jajushhie produktivnost' gipergalinnyh ozer [Factors determining the productivity of hypersaline lakes] // Sovremennoe sostojanie vodnyh bioresursov: Mat. IV Mezhdunar. konf. (10–11 nov. 2016 g.) [Current state of aquatic biological resources: Proceed. IV int. conf. (Nov. 10–11, 2016). Novosibirsk, 2016. P. 32–37. (in Russian).

Vesnina L.V., Bezmaternyh D.M., Lassyj M.V., Vesnin Ju.A., Rjabova K.K., Uvarova O.V. Morfometricheskie harakteristiki i DNK-barkoding zhabronogih rakooobraznyh roda *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) ozer Kulundinskoj nizmennosti Altajskogo kraja [Morphometric characteristics and DNA barcoding of branchiopod crustaceans of the genus *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) of lakes in the Kulunda lowland of the Altai Krai] // Biologija vnutrennih vod [Inland Water Biology]. 2025. Vol. 18, no. 5. P. 794–804. doi: 10.31857/S0320965225050038. (in Russian).

Geoportal Roskosmosa [Roscosmos Geoportal]. URL: <https://gptl.ru/> (accessed: 25.11.2025).

GOST 17.1.1.02-77. Klassifikacija vodnyh ob#ektov [Classification of water bodies]. M: Izdatel'stvo standartov, 1977. 9 p. (in Russian).

Zhadin V.I. Metody gidrobiologicheskogo issledovanija [Methods of hydrobiological research]. M.: Vysshaja shkola, 1960. 188 p. (in Russian).

Karpevich A. F. Teorija i praktika akklimatizacii vodnyh organizmov [Theory and practice of acclimatization of aquatic organisms]. M.: Pishhevaja promyshlennost', 1975. 432 p. (in Russian).

Kuchko Ja.A., Il'mast N.V., Kuchko T.Ju. Metody sbora i obrabotki prob zooplanktona na presnovodnyh vodoemah [Methods of collecting and processing zooplankton samples in freshwater bodies]: uchebnoe posobie dlja studentov jekologo-biologicheskogo i agrotehnicheskogo fakultetov. Petrozavodsk: Izdatel'stvo PetrGU, 2016. 26 p. (in Russian).

Kononova O.N., Fefilova E.B. Metodicheskoe rukovodstvo po opredeleniju razmerno-vesovyh harakteristik organizmov zooplanktona evropejskogo severa Rossii [Methodological guide for determining the size and weight characteristics of zooplankton organisms in the European north of Russia]. Syktyvkar, 2018. 152 p. (in Russian).

Litvinenko L.I., Boyko E.G., Kutsanov K.V., Gerasimov A.G., Razova L.F., Pobedintseva M.A., Litvinenko A.I. K voprosu identifikacii populyacionnoj prinadlezhnosti artemii vodoemov Rossii po cistam [On the issue of identification of the *Artemia* population belonging to Russian reservoirs by cysts] // Vestnik rybohozyajstvennoj nauki. 2018. Vol. 5, no 1. P. 4–25. (in Russian).

Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyah na presnovodnyh vodoemah. Zooplankton i ego produkcija [Methodological recommendations for the collection and processing of materials in hydrobiological studies in freshwater reservoirs. Zooplankton and its products]. L.: GosNIORH, 1982. 55 p.

Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju obshhih dopustimyh ulovov (ODU) cist zhabronogogo rachka *ARTEMIA* [Guidelines for determining the total allowable catches (TDES) of *ARTEMIA* gill-legged crustacean cysts]. Tjumen', 2002. 25 p. (in Russian).

Nikonorov A.M. Spravochnik po gidrohimii [Handbook of Hydrochemistry]. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 91 p. (in Russian).

Oksijuk O.P., Zhukinskij V.N., Braginskij L.P., Linnik P.N., Kuz'menko M.I., Klenus V.G. Kompleksnaja jekologicheskaja klassifikacija kachestva poverhnostnyh vod sushi [Comprehensive ecological classification of land surface water quality] // Gidrobiologicheskij zhurnal, 1993. Vol. 29, no. 4. P. 62–76. (in Russian).

Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi. Chast' 1 [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters. Part 1] / Ed. L.V. Boeva. Rostov-na-Donu, 2009. 1150 p. (in Russian).

Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi. Chast' 2 [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters. Part 2] / Ed. L.V. Boeva. Rostov-na-Donu: Izd-tvo JuFU, 2012. 720 p. (in Russian).

Solovov V.P., Studenikina T.L. Rachok artemiya v ozerah Zapadnoj Sibiri [The brine shrimp *Artemia* in the lakes of Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka, 1990. 80 p. (in Russian).

Halafjan A.A. STATISTICA 6. Statisticheskij analiz dannyh [STATISTICA 6. Statistical data analysis]. M: OOO «BinomPress», 2007. 512 p. (in Russian).

Asem A., Yang C., Eimanifar A., Hontoria F., Varo I., Mahmoudi F., Fu C.-Z., Shen C.Y., Rastegar-Pouyani N., Wang P.Z., Li W., Yoa L., Meng X., Dan Y.T., Rogers D.D., Gajardo G. Phylogenetic analysis of problematic Asian species of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea,

Anostraca), with the descriptions of two new species // Journal of Crustacean Biology. 2023. Vol. 43: P. 1–25. doi: 10.1093/jcbiol/ruad002

Gajardo G., Abatzopoulos T. J., Kappas I., Beardmore J. A. Evolution and speciation // *Artemia*. Basic and Applied. Dordrecht; Netherlands: Springer., 2002. P. 225.

Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boiko E.G., Kutsanov K. *Artemia* cyst production in Russia // Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2015. Vol. 33, no. 6. P. 1436–1450. doi: 10.1007/s00343-015-4381-6

Shadrin N., Anufrieva E. Review of the biogeography of *Artemia* Leach, 1819 (Crustacea: Anostraca) in Russia // International Journal of Artemia Biology, 2012. Vol. 2, no.1. P. 51–61.

Van Stappen G., Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boyko E.G., Marden B. & Sorgeloos P. A survey of *Artemia* resources of Southwest Siberia (Russian Federation) // Reviews in Fisheries Science. 2009. Vol. 17, no. 1. P. 117–148. doi:10.1080/10641260802590095

Van Stappen G., Sorgeloos P., Rombaut G. Manual on *Artemia* production and use // FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers. No. 702. Rome, 2024. 192 p. doi: 10.4060/cd0313en

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE BRANCHIOPOD CRUSTACEAN *ARTEMIA PARTHENOGENETICA* AND *ARTEMIA TIBETIANA* IN HYPERSALINE LAKES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

L.V. Vesnina, D.M. Bezmaternyh, M.V. Lassyj, Ju. A. Vesnin

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: artemia.vesnina@mail.ru, bezmater@iwep.ru, mihalassy@mail.ru, uav1978@mail.ru

The article presents the results of a comprehensive hydrochemical and hydrobiological study of 10 different types of hypersaline lakes in the south of Western Siberia, conducted from July to September 2025. It has been established that the populations of Artemia Leach, 1819 are represented by two species, A. parthenogenetica Barigozzi, 1974 and A. tibetiana (Abatzopoulos et al., 1998). Their size, age, and numerical parameters depend on a number of physical and chemical factors identified on the basis of the Spearman correlation index: water temperature, water salinity, hydrogen potential, redox potential, electrical conductivity, oxygen dissolved in water, and catching depth.

Keywords: *Artemia*; populations; cysts; size and age structure; environmental factors; salt lakes; water; salinity.

Received: December 18, 2025. Accepted: February 13, 2026

Сведения об авторах

Веснина Любовь Викторовна – д.б.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории водной экологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия,

656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-1325-9030. E-mail: artemia.vesnina@mail.ru.

Безматерных Дмитрий Михайлович – д.б.н., доцент, заместитель директора по научной работе Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-7747-4939. E-mail: bezmater@iwep.ru.

Лассый Михаил Владимирович – младший научный сотрудник лаборатории водной экологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-4042-5858. E-mail: mihalassy@mail.ru.

Веснин Юрий Александрович – инженер лаборатории водной экологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-2792-8039. E-mail: uav1978@mail.ru.

Information about the authors

Vesnina Ljubov' Viktorovna – Dr Sc. in Biology, Professor, chief researcher at the Laboratory of Aquatic Ecology of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodjozhnaja St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-1325-9030. E-mail: artemia.vesnina@mail.ru.

Bezmaternyh Dmitrij Mihajlovich – Dr Sc. in Biology, Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodjozhnaja St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-7747-4939. E-mail: bezmater@iwep.ru.

Lassyj Mihail Vladimirovich – Junior research fellow at the Laboratory of Aquatic Ecology of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodjozhnaja St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-4042-5858. E-mail: mihalassy@mail.ru.

Vesnin Jurij Aleksandrovich – Engineer at the Laboratory of Aquatic Ecology of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodjozhnaja St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-2792-8039. E-mail: uav1978@mail.ru.

УДК 581.526.325.2 (282.256.34)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДИНАМИКА ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.Ю. Зарубина, М.И. Соколова

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,**E-mail: zeur11@mail.ru, smi1181@mail.ru*

*Приведены результаты оценки современного состояния и многолетней динамики (2001–2006 и 2023 гг.) высшей водной растительности литорали Телецкого озера – уникального глубоководного олиготрофного водоема. Инвентаризация выявила 88 видов макрофитов. Сравнительный анализ на заповедных (Камгинский, Кыгинский заливы) и рекреационных (устья рек Колдор, Тевенек, с. Артыбаш) участках показал разнонаправленные изменения. На заповедных участках значимых изменений не зафиксировано ($p > 0.05$). В зонах рекреации отмечена деградация фитоценозов: исчезновение чувствительных видов (*Potamogeton alpinus*, *P. crispus*), снижение плотности и биомассы погруженных гидрофитов в 3.5–5.6 раза (с. Артыбаш, $p < 0.001$; устье р. Тевенек, $p < 0.05$). В устье р. Колдор отмечен рост биомассы, коррелирующий с повышенными значениями БПК₅ ($r_s = 0.62$, $p < 0.05$), что указывает на локальное эвтрофирование. Методом главных компонент подтверждено обособление трех групп участков: стабильные заповедные, зона эвтрофирования и зоны рекреационной деградации. Установлено, что ключевым фактором трансформации растительности является рост рекреационной нагрузки, что требует организации мониторинга и регулирования туристической деятельности.*

Ключевые слова: макрофиты; олиготрофное озеро; Телецкое озеро; рекреационная нагрузка; динамика растительности; антропогенное воздействие; эвтрофирование; PCA; корреляционный анализ.

DOI:10.24412/2410-1192-2026-18005

Дата поступления: 25.12.2025. Принята к печати: 20.02.2026

Телецкое озеро – уникальный глубоководный (до 323.3 м) олиготрофный водоем, занимающий 39-е место среди глубочайших озер мира [Selegei et al., 2001]. Его экосистема характеризуется невысокой температурой воды в летний период, низкими концентрациями биогенов и низким уровнем развития биоценозов, что типично для холодноводных олиготрофных озер. И только на отдельных участках литорали со-

став гидробионтов изменяется до мезотрофного уровня [Селегей, Селегей, 1978; Телецкое озеро, 2012]. В последние десятилетия интенсивное развитие туризма в Республике Алтай обусловило рост антропогенной нагрузки на озеро, особенно на его северо-западный мелководный участок [Кудерина и др., 2019]. По данным [Коробенко и др., 2023; Кудерина и др., 2019] в 2023 г. на прибрежной территории озера насчиты-

валось 162 базы отдыха, а годовое количество туристов достигало 150 тыс. человек, что в 70 раз превышает суммарное число местных жителей четырех прибрежных поселений [Архипова и др., 2021]. Увеличение антропогенной нагрузки, по данным дистанционного зондирования [Андреева и др., 2022], с 1993 по 2021 гг. привело к сокращению площади растительного покрова на участках северо-западного побережья оз. Телецкое от с. Артыбаш до р. Тевенек и в истоке р. Бия в 2–4 раза.

Экосистемы холодноводных олиготрофных озер очень уязвимы к внешним воздействиям [Румянцев и др., 2011; Нигаматзянова, Федорова, 2015; Терентьев и др., 2017; Захаров, 2020; Поздняков, Кондратьев, 2022]. Ключевую роль в их защите играет литораль, выполняющая функцию экологического барьера. Основным компонентом этого барьера является высшая водная растительность, реализующая средообразующую и барьерную функции.

Целью работы было исследование современного состояния растительности ключевых участков Телецкого озера и оценка степени ее трансформации за 20-летний период.

Материалы и методы

Исследования проводились в период максимальной вегетации (начало-середина августа) 2001, 2002, 2004–2006 и 2023 гг. на ключевых участках:

- заповедная территория – Кыгинский и Камгинский заливы;
- зона с рекреационной нагрузкой – устья рек Чулышман, Колдор и Тевенек, район с. Артыбаш (рис. 1.).

Исследования выполнялись с применением стандартных методов сбора, гербаризации, описания и картирования высшей водной растительности [Катанская, 1981; Папченков, 2003]. Продуктивность определяли по биомассе на укосных площадках 0.25 м² в 2–4-х кратной повторности с последующим досушиванием до абсолютно сухого веса (АБС) при T = 85°C по методике [Распопов, 2006]. Идентификация сосудистых растений проводилась по определителям [Флора Сибири, 1988–1997; Лисицына, Папченков, 2000] и монографиям [Taylor, 1989; Wiegand, Kaplan, 1998]. Используемая в работе номенклатура таксонов по сосудистым растениям приведена по IPNI [International..., 2025].

Инвентаризация водной и прибрежно-водной флоры Телецкого озера проводилась на основе собственных данных [Зарубина, 1996; Зарубина, Зятев, 2003; Зарубина, Ковешникова, 2006а, б; Зарубина, Соколова, 2007, 2008, 2025], а также данных других исследователей [Киприянова и др., 2024; Киприянова, Золотухин, 2025].

Для характеристики условий обитания растительных сообществ определяли: глубину произрастания видов, прозрачность и температуру поверхностного слоя воды, концентрацию растворенного в воде кислорода (O₂, мг/л), водородный показатель (pH), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅, мгO₂/л) с использованием портативных анализаторов воды Анион 7051 и МАРК 302Э. Приборы перед началом измерений калибровали.

Статистическая обработка материала проведена с использованием пакетов программ MS Excel-2016, Statistica 6.0 и PAST

(PALeontological Statistics) Version 5.3. Достоверность различий средних значений биомассы между периодами (2001–2006 и 2023 гг.) оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна–Уитни (Mann–Whitney U test) в связи с небольшим объемом выборок. Для выявления связи гидрохимических показателей с продукционными характеристиками растительности использовали корреляционный анализ по Спирмену (Spearman's rank correlation). Для многомерного анализа различий между участками по структуре растительных сообществ применяли метод главных ком-

понент (PCA) на стандартизованных данных (Z-scores). Различия считали статистически значимыми при $p < 0.05$.

Результаты

Гидрохимические характеристики.

Исследования на литоральных участках проводили на глубине от 0.1 до 6.0 м, в среднем – 1.3 м (табл. 1). Наибольшая глубина произрастания макрофитов отмечена в Кыгинском заливе. На всех исследованных участках литорали, как в зарослях макрофитов, так и в открытой воде, прозрачность воды была до дна и соответствовала глубине отбора проб.

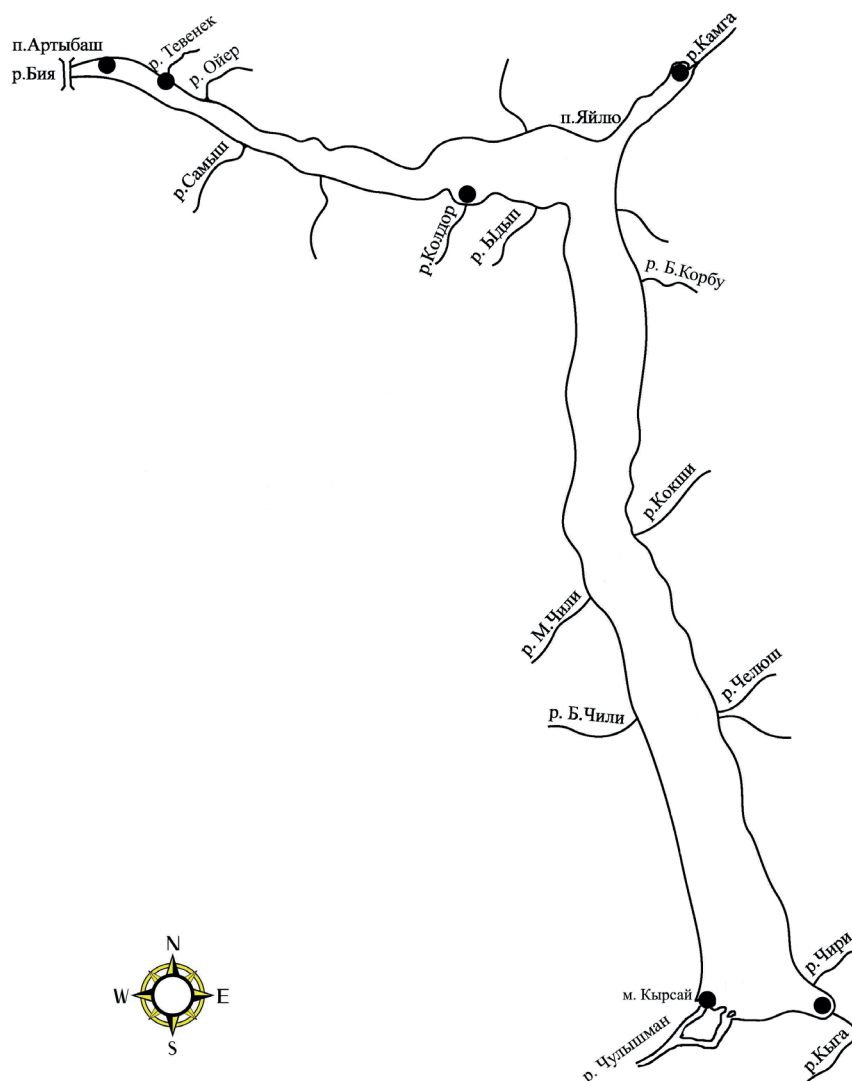


Рис. 1. Карта-схема Телецкого озера (точками отмечены участки исследования макрофитов)

Fig. 1. Map of Lake Teletskoye (the dots mark the study sites of macrophytes)

Таблица 1

Гидрологические и гидрохимические показатели исследованных участков литорали
Телецкого озера (30.07–02.08.2023 г.)

Table 1

Hydrological and hydrochemical parameters of the studied littoral sites in Lake Teletskoye
(30.07–02.08.2023)

Пункты наблюдений	H, м	S, м	T, °C	pH	O ₂ , мг/дм ³	NaCl, мг/л	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Примечание
устье р. Чулышман	0.4	0.4	19.3	9.1	9.7	52.9	2.9	заросли мф
	1.0	1.0	18.5	9.0	10.9	56.2	–	край зарослей
	0.5	0.5	18.8	8.2	8.6	50.6	2.4	открытая вода
Кыгинский залив	2.4	2.4	16.9	8.4	8.1	53.6	2.3	заросли мф
	3.1	3.1	16.9	8.4	8.4	51.8	–	край зарослей
	6.0	6.0	17.0	8.4	8.5	51.9	2.7	открытая вода
Камгинский залив	0.4	0.4	26.6	9.0	10.2	49.6	2.0	заросли мф
	0.45	0.45	26.8	8.5	8.0	41.6	–	край зарослей
	1.35	1.35	26.5	8.0	7.8	42.3	0.2	открытая вода
устье р. Колдор	0.35	0.35	21.8	7.3	7.5	63.4	2.9	заросли мф
	0.3	0.3	21.0	7.6	7.4	60.1	–	край зарослей
	0.45	0.45	20.7	7.8	8.4	55.2	1.0	открытая вода
устье р. Тевенек	0.3	0.3	19.5	8.95	8.4	53.7	1.5	заросли мф
	1.25	0.5	17.3	8.6	8.1	47.9	0.8	край зарослей
	1.5	0.5	16.5	8.4	7.6	47.5	0.6	открытая вода
с. Артыбаш	1.65	1.65	14.9	8.2	8.5	43.1	2.9	заросли мф
	1.0	1.0	15.1	8.3	8.06	44.6	0.6	открытая вода

Примечания: H – глубина; S – прозрачность, NaCl – минерализация, мф – макрофиты.

Температура воды в период исследований в литорали была значительно выше, чем в пелагиали и колебалась в пределах от 14.9 до 26.8°C (в среднем 19.7°C) с максимальными значениями в устье р. Чулышман и Камгинском заливе. Водородный показатель (pH) в среднем соответствовал слабо щелочным водам – 8.4 ± 0.1 , при этом наибольшие значения pH отмечены в зарослях макрофитов на всех исследованных участках, за исключением устья р. Колдор. По минерализации воды – литоральные участки озера, как и пелагиаль, относятся к олигогалинным водам. По насыщению воды кислородом, согласно классификации О.П. Оксик с соавт. [1993], к олиго-

сапробным мезотрофным чистым водам (в среднем $94.9 \pm 3.4\%$). Однако на отдельных участках – в районе с. Артыбаш и устьях р. Тевенек и Колдор в не зарастающей литорали качество воды (по насыщению кислородом) соответствовало β-мезосапробным эвтрофным слабозагрязненным водам, в то время как на этих же участках в зарослях макрофитов – мезотрофным достаточно чистым водам. По величине БПК₅ – вода в среднем (1.75 ± 0.28 мгО₂/дм³), как и по насыщению кислородом, соответствовала классу β-мезосапробных эвтрофных слабозагрязненных вод. При этом, в зарастающей литорали в районе с. Артыбаш, в устьях рек Чулышман, Колдор и в не за-

растающей литорали в Кыгинском заливе – α -мезосапробным эвполитрофным умеренно загрязненным водам (по БПК₅).

Корреляционный анализ по Спирмену показал достоверную связь ($p < 0.05$) биомассы гелофитов с глубиной ($r_s = 0.83$), гидрофитов – с температурой воды ($r_s = 0.79$). Также выявлена положительная корреляция между биомассой макрофитов и величиной БПК₅ ($r_s = 0.62$, $p < 0.05$), что указывает на стимулирующее влияние органического загрязнения на продуктивность растительности в зонах локального эвтрофирования (устье р. Колдор).

Таксономическая структура флоры. В результате инвентаризации гербарных сборов и анализа литературных источников [Киприянова и др., 2024; Зарубина, Соколова, 2025; Киприянова, Золотухин, 2025] во флоре Телецкого озера зарегистрировано 88 видов водных, прибрежно-водных и околоводных растений, относящихся к 51 роду, 28 семействам и 3 отделам. Подавляющее большинство видов (94%) представлено покрытосеменными (Magnoliophyta).

В спектре покрытосеменных двудольные (Magnoliopsida) составляют 51% от об-

щего числа видов и 73% от числа семейств, что свидетельствует о высокой доле мало-видовых семейств в этой группе по сравнению с однодольными (Liliopsida). Данная таксономическая структура характерна для водных флор Голарктики, где доминируют гидрофильные линии однодольных.

Наибольшим видовым богатством во флоре озера отличаются семейства Potamogetonaceae и Cyperaceae (по 11 видов), Ranunculaceae (10 видов), Juncaceae (6 видов), Poaceae и Typhaceae (по 4 вида). Большинство родов представлены одним–двумя видами; исключение составляют *Potamogeton* и *Ranunculus* (по 9 видов каждый), а также *Juncus* и *Carex* (по 5 видов).

В составе «водного ядра» флоры, включающего исключительно водные и прибрежно-водные растения, зафиксировано 60 видов из 32 родов, 21 семейства и 3 отделов. Помимо уже указанных ведущих семейств Potamogetonaceae (11 видов), Cyperaceae (9), Ranunculaceae (8), Typhaceae (4) и Poaceae (3), в число доминантов входят также Alismataceae и Characeae, содержащие по 3 вида каждое (рис. 2).

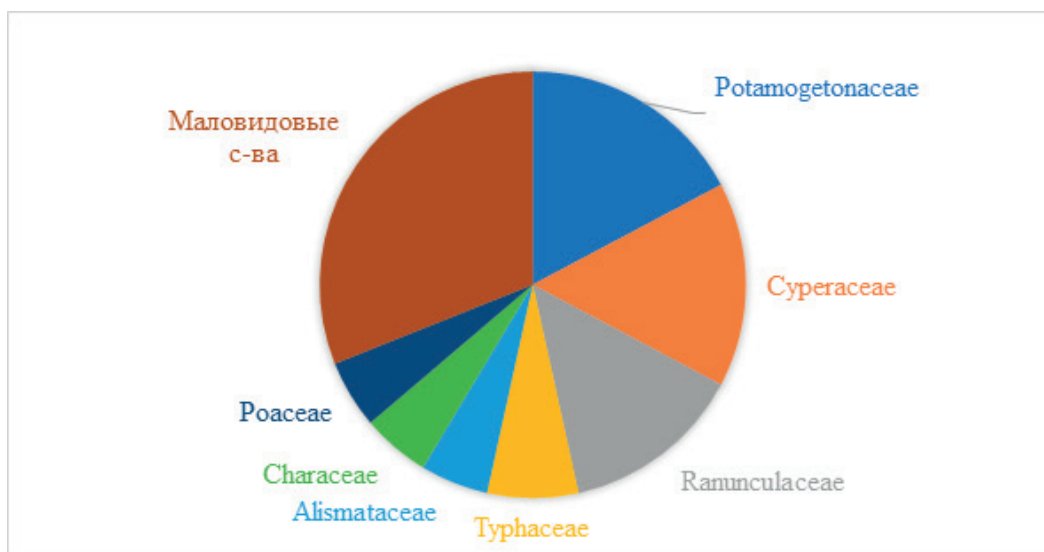


Рис. 2. Таксономический спектр «водного ядра» флоры Телецкого озера
Fig. 2. Taxonomic spectrum of the «aquatic core» of the Lake Teletskoye flora

В экологическом спектре флоры преобладают гидрофиты (29 видов), гелофиты и гигрогелофиты (по 16 в.), которые формируют собственно водную флору («водное ядро») озера (69% видового состава). Гигрофиты и менее требовательные к водным условиям гигромезофиты (всего 28 видов) составляют 31% видового состава и входят как сопутствующие виды в состав прибрежно-водных сообществ.

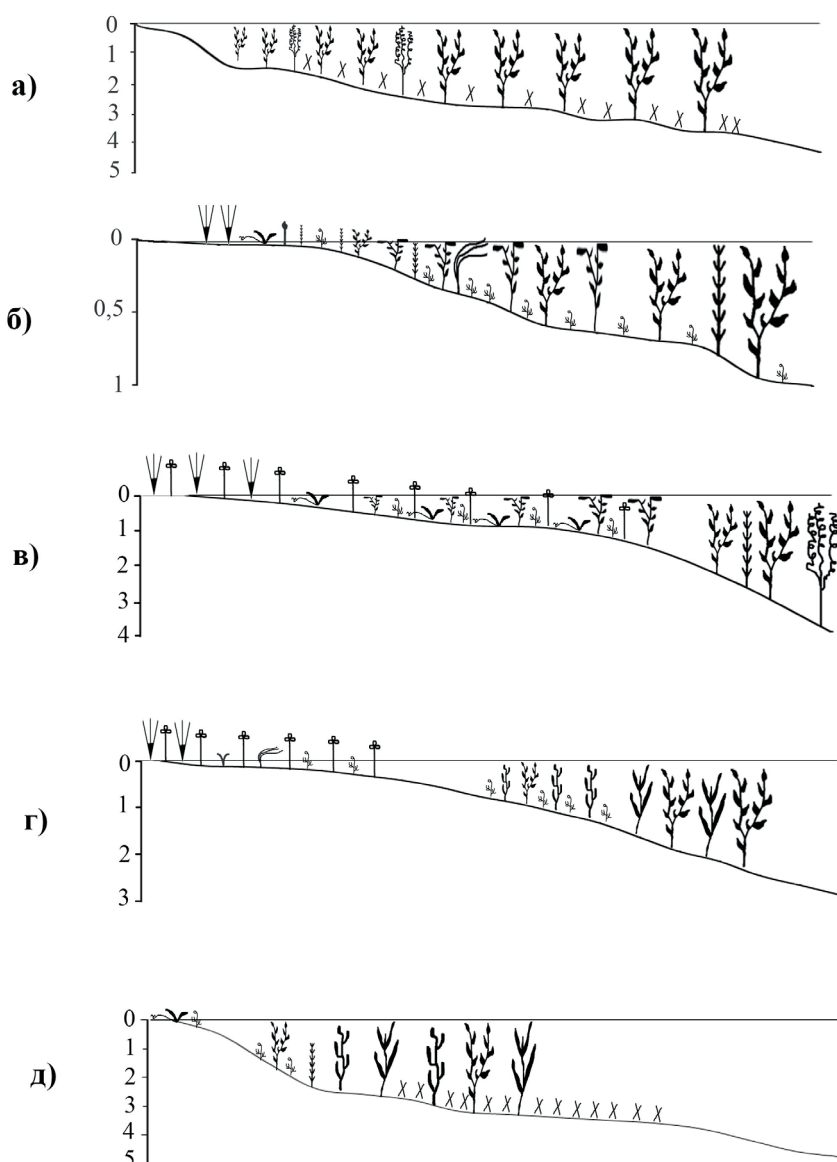
Пространственное распределение растительных сообществ. Природные особенности разных участков озера обуславливают своеобразие их растительного покрова.

В относительно глубоководном *Кыгинском заливе* высшая водная растительность представлена, преимущественно, сообществами погруженных видов и только в устье р. Кыги встречаются отдельные группировки прибрежно-водных растений (*Equisetum fluviatile*, *Petasites radiatus* (JFGmel) Toman, *Carex acuta* и др.). Заросли погруженных гидрофитов располагаются в северной части залива в виде узкой полосы на расстоянии 5–10 м от уреза воды на глубине от 2 до 6 м. Это рдестовые сообщества с доминированием *Potamogeton perfoliatus* L., а в отдельные годы – *Potamogeton crispus* L., в нижнем ярусе – сплошной ковер образует *Chara globularis* Tuiller. Проективное покрытие в таких сообществах в верхнем ярусе – 50–70%, в нижнем – до 70–90%. Несмотря на относительно высокое проективное покрытие, количественных характеристики в ценозах низкие: численность рдестов около 24 экз./м², биомасса (в АСВ) – около 24.0 г/м² (рис. 3а, табл. 2).

Наибольшее видовое разнообразие на-

блюдается в верховьях *Камгинского залива*, где небольшая глубина, почти полное отсутствие ветроволнового воздействия и илистые грунты создают благоприятные условия для роста и развития водной растительности. Здесь в равной степени развиваются как погруженные, так и полупогруженные растения и хорошо выражена поясность в распространении растительности. Вдоль берегов на мелководье на топких илистых грунтах доминируют гигрогелофиты, представленные осоковыми сообществами. За поясом гигрогелофитов по направлению к открытой воде идет пояс гелофитов, которые совместно с гидрофитами образуют многоярусные сообщества. В верхнем ярусе доминируют *Carex acuta* L., *Equisetum fluviatile* L. или *Eleocharis palustris* (L.) Roem. et Schult., в нижнем ярусе довольно часто встречается *Potamogeton gramineus* L., *Ranunculus reptans* L. и *R. trichophyllus* Chaux. Продуктивность этих сообществ в значительной степени определяется доминантами верхнего яруса и колеблется от 158.0±18.0 г/м² в год в сообществах болотницы болотной, до 488.0±88.0 г/м² в год – в сообществах осоки острой. На больших глубинах доминируют рдесты *Potamogeton perfoliatus* L. и *P. alpinus* Balb. subsp. *tenuifolius* (Raf.) Hult., уруть *Myriophyllum sibiricum* Kom. (рис. 3б).

Устье р. *Колдор* представляет собой заболоченную дельту, обильно заросшую гидрофильным разнотравьем. На берегах и мелководье доминируют высокопродуктивные сообщества *Carex acuta*, общее проективное покрытие в которых составляет 70–80% при численности более 200 экз./м² и продукции около 500 г/м² в год.



Условные обозначения:

1 - ; 2 - ; 3 - ; 4 - ; 5 - ; 6 - ; 7 - ; 8 - ; 9 - ; 10 - ; 11 - ; 12 - ; 13 - ; 14 - .

Рис. 3. Профили зарастания исследованных заливов Телецкого озера, август 2023 г.
 Условные обозначения: а) Кыгинский залив, б) Камгинский залив, в) устье р. Колдор, г) устье р. Тевенек, д) в районе п. Артыбаш; 1 – *Potamogeton perfoliatus*, 2 – *P. praelongus*, 3 – *P. gramineus*, 4 – *P. crispus*, 5 – *Stuckenia vaginata*, 6 – *Ranunculus trichophyllus*, 7 – *Myriophyllum sibiricum*, 8 – *Equisetum fluviatile*, 9 – *Butomus umbellatus*, 10 – *Carex acuta*, 11 – *Eleocharis palustris*, 12 – *Ranunculus reptans*, 13 – *Chara*, 14 – *Subularia aquatica*

Fig. 3. Vegetation profiles of the studied bays of Lake Teletskoye, August 2023.
 Designations: а) Kyga Bay, б) Kamga Bay, в) Koldor River estuary, г) Tevenek River estuary, д) Artybash settlement area; 1 – *Potamogeton perfoliatus*, 2 – *P. praelongus*, 3 – *P. gramineus*, 4 – *P. crispus*, 5 – *Stuckenia vaginata*, 6 – *Ranunculus trichophyllus*, 7 – *Myriophyllum sibiricum*, 8 – *Equisetum fluviatile*, 9 – *Butomus umbellatus*, 10 – *Carex acuta*, 11 – *Eleocharis palustris*, 12 – *Ranunculus reptans*, 13 – *Chara*, 14 – *Subularia aquatica*

Таблица 2

Количественные показатели водной и прибрежно-водной растительности
Телецкого озера, август 2023 г.

Table 2

Quantitative parameters of aquatic and coastal-aquatic vegetation
in Lake Teletskoye, August 2023

Место отбора	Н, м	Доминант	Численность, экз./м ²	Высота, см	АСВ, г/м ²	Продукция, г/м ² *Год
устье р. Чулыш- ман	0.5–1.0	<i>P. perfoliatus</i>	222.0 ± 66.0	60.1 ± 6.7	52.0 ± 4.0	130.0 ± 10.0
Кыгинский залив	2.4	<i>P. perfoliatus</i>	24.0 ± 4.0	132.2 ± 15.0	24.0 ± 4.0	70.0 ± 10.0
Камгинский залив	0.4	<i>P. gramineus</i>	196.0 ± 4.0	60.2 ± 3.6	72.0 ± 16.0	158.0 ± 18.0
		<i>R. trichophyllus</i>	134.0 ± 50.0	14.8 ± 1.0		
		<i>P. perfoliatus</i>	18.0 ± 10.0	36.6 ± 8.2		
		<i>Eleocharis palustris</i>	96.0 ± 64.0	58.9 ± 6.9		
	0.2	<i>C. acuta</i>	258.0 ± 30.0	88.2 ± 5.0	244.0 ± 44.0	488.0 ± 88.0
		<i>E. fluviatile</i>	10.0 ± 2.0	72.4 ± 5.8		
		<i>P. gramineus</i>	46.0 ± 30.0	26.1 ± 3.2		
устье р. Колдор	0.4–0.5	<i>E. fluviatile</i>	369.0 ± 155.4	65.2 ± 1.9	192.0 ± 65.0	249.6 ± 84.5
		<i>P. gramineus</i>	206.0 ± 65.7	20.2 ± 0.8		
	0.1–0.2	<i>C. acuta</i>	234.0 ± 18.0	69.5 ± 2.9	260.0 ± 36.0	520.0 ± 72.0
устье р. Тевенек	1.6	<i>P. praelongus</i>	58.0 ± 30.0	28.7 ± 2.3	28.0 ± 12.0	70.0 ± 30.0
		<i>P. perfoliatus</i>	8.0 ± 4.0	15.4 ± 3.6		
		<i>R. trichophyllus</i>	228.0 ± 172.0	10.8 ± 0.7		
	0.1–0.4	<i>R. trichophyllus</i>	78.0 ± 1.0	19.6 ± 1.1	68.0 ± 4.0	113.6 ± 30.4
		<i>E. fluviatile</i>	158.0 ± 78.0	49.3 ± 2.4		
	0.1	<i>C. acuta</i>	396.0 ± 44.0	69.4 ± 2.9	320.0 ± 64.0	640.0 ± 128.0
		<i>R. repens</i>	20.0 ± 12.0	66.8 ± 4.9		
		<i>E. fluviatile</i>	268.0 ± 12.0	68.1 ± 3.8		
с. Артыбаш	1.5–2	<i>P. perfoliatus</i>	55.0 ± 14.1	49.8 ± 2.8	20.0 ± 2.3	50.0 ± 5.8
		<i>Nitella flexilis</i>	24.0 ± 4.0	5.0 ± 0.4		
	2.5	<i>St. vaginata</i>	6.0 ± 2.0	127.7 ± 2.3	16.0 ± 4.6	40.0 ± 11.5
		<i>P. perfoliatus</i>	9.0 ± 1.0	49.7 ± 8.4		
		<i>P. praelongus</i>	8.0 ± 4.0	91.7 ± 7.6		
	2.5	<i>P. maackianus</i>	242.0 ± 134.0	90.5 ± 3.7	20.0 ± 4.0	50.0 ± 10.0

В приустьевой полосе осоковые со- общества сменяют сообщества *Equisetum* него яруса хвоща речного с проективным покрытием 60–70% и нижнего яруса, *fluviatile*, для которых характерно нали- представленного *Potamogeton gramineus* чие двух четко выраженных ярусов: верх- и *Ranunculus trichophyllus* (проективное

покрытие около 50%). Численность в сообществах составляет 369.0 ± 155.4 экз./м² хвоща и 206.0 ± 65.7 экз./м² рдеста, продуктивность – около 250 г/м² в год.

Прибойная каменистая литораль неблагоприятна для произрастания макрофитов, поэтому высшая водная растительность здесь отсутствует. С увеличением глубины и расстояния от берега количество мелкозернистого субстрата увеличивается, а сила прибоя снижается. На глубине от 2 до 4 м здесь развиваются разреженные ценозы *Myriophyllum sibiricum* и рдестов *Potamogeton perfoliatus* и *P. crispus* (рис. 3в).

В устье р. Тевенек на сырых берегах и мелководье доминируют осоково-злаковые сообщества с проективным покрытием от 35 до 70%. На мелководье *Equisetum fluviatile* образует многоярусные разреженные ценозы, для которых характерно наличие в нижнем ярусе *Ranunculus trichophyllus* и *Subularia aquatica* L. На глубине до 1 м часто встречается *Butomus umbellatus* L., ранее на этом участке отмечавшийся единично. Пояс погруженной растительности начинается с глубины около 1 м и представлен ценозами *Potamogeton perfoliatus*, в нижнем ярусе также довольно обычен *Ranunculus trichophyllus*. На глубине свыше 2 м разреженные заросли образует рдест *P. praelongus*, довольно часто встречается *Stuckenia vaginata* (Magnin) Holub, которая раньше на этом участке встречалась лишь единично. Продуктивность сообществ гидрофитов очень низкая (70.0 ± 30.0 г/м² в год), при численности верхнего яруса от 8.0 ± 4.0 до 58.0 ± 30.0 экз./м² (*Potamogeton perfoliatus* и *P. praelongus*,

соответственно), от 78.0 ± 1.0 до 228 ± 172.0 экз./м² (*R. trichophyllus*) в нижнем ярусе (рис. 3г).

На исследуемом участке вблизи с. Артыбаш водная и прибрежно-водная растительность характеризуется ограниченным распространением и низкой степенью проективного покрытия. В зоне мелководья единично отмечаются разреженные ценопопуляции *Ranunculus reptans* и *R. trichophyllus*.

На глубинах от 1.5 до 4.5 м локально, в виде фрагментированных пятен, представлены сообщества рдестовых (*Potamogeton perfoliatus*, *P. praelongus*, *Stuckenia vaginata*) с проективным покрытием, не превышающим 10–15%, и плотностью травостоя 6.0–9.0 экз./м². В нижнем ярусе в этих сообществах и на глубине до 5.0–6.0 м встречаются изолированные скопления харовых водорослей *Nitella flexilis* (L.) C. Agardh, что свидетельствует о сохранении участков с низкой турбулентностью и стабильным гидрохимическим режимом.

Особый интерес представляет находка на участках с умеренным антропогенным воздействием впервые зарегистрированного вида *Potamogeton maackianus* A. Benn., формирующего относительно сомкнутые ценозы с проективным покрытием до 40% и плотностью 55.0–242.0 экз./м². Однако, несмотря на высокие количественные показатели, продуктивность данных сообществ остаётся низкой (40–60 г/м² в год), что может указывать на лимитирующее влияние абиотических факторов либо специфику адаптационной стратегии вида.

Статистический анализ с применением U-критерия Манна–Уитни выявил разнонаправленную динамику растительности на

исследованных участках. На заповедных территориях (Кыгинский и Камгинский заливы) различия в биомассе макрофитов между периодами 2001–2006 и 2023 гг. статистически недостоверны ($p > 0.05$), что свидетельствует о стабильности растительных сообществ в условиях охраняемого режима (табл. 3).

В зонах с высокой рекреационной нагрузкой зафиксированы статистически значимые изменения. В районе с. Артыбаш отмечено высоко значимое снижение биомассы погруженных макрофитов ($p < 0.001$), что подтверждает деградацию растительного покрова под влиянием антропогенного пресса. В устье р. Тевенек также зафиксировано значимое сокращение биомассы гидрофитов ($p < 0.05$).

В устье р. Колдор, несмотря на тенденцию к увеличению биомассы как водных, так и прибрежно-водных растений, различия статистически не значимы ($p > 0.05$), что может быть связано с высокой вариабельностью данных и локальным характером эвтрофирования.

Для анализа различий между участками по динамике биомассы макрофитов применен метод главных компонент (РСА) (рис. 4). Первые две компоненты объясняют 98.8% общей дисперсии (PC1 – 78.3%, PC2 – 20.5%). Вдоль оси PC1, интерпретируемой как «общая продуктивность», максимальные положительные значения характерны для устья р. Колдор, где отмечен рост биомассы в 2023 г. Отрицательные значения PC1 соответствуют участкам с низкой продуктивностью (Кыгинский залив, с. Артыбаш). Ось PC2 разделяет участки по типу изменений: отрицательные значения связаны с резким падением продуктивности гидрофитов (устье р. Тевенек), положительные – с участками стабильного развития гелофитов (Камгинский залив). На ординационной диаграмме отчетливо обособляются три группы: (1) заповедные участки со стабильными показателями, (2) зона активного эвтрофирования (устье р. Колдор), (3) зоны деградации растительности под влиянием рекреации (с. Артыбаш, устье р. Тевенек).

Таблица 3

Результаты статистического анализа динамики биомассы макрофитов (2001–2006 и 2023 гг.) с применением U-критерия Манна–Уитни

Table 3

Results of statistical analysis of macrophyte biomass dynamics (2001–2006 and 2023) using the Mann–Whitney U-test

Участок	Тип растительности	p-value	Значимость
Кыгинский залив	Водные	0.196	ns
Камгинский залив	Водные	0.154	ns
Камгинский залив	Прибрежно-водные	0.762	ns
устье р. Колдор	Водные	0.827	ns
устье р. Колдор	Прибрежно-водные	0.381	ns
устье р. Тевенек	Водные	0.036	*
с. Артыбаш	Водные	0.0005	***

Примечания: ns – не значимо, * – $p < 0.05$, *** – $p < 0.001$

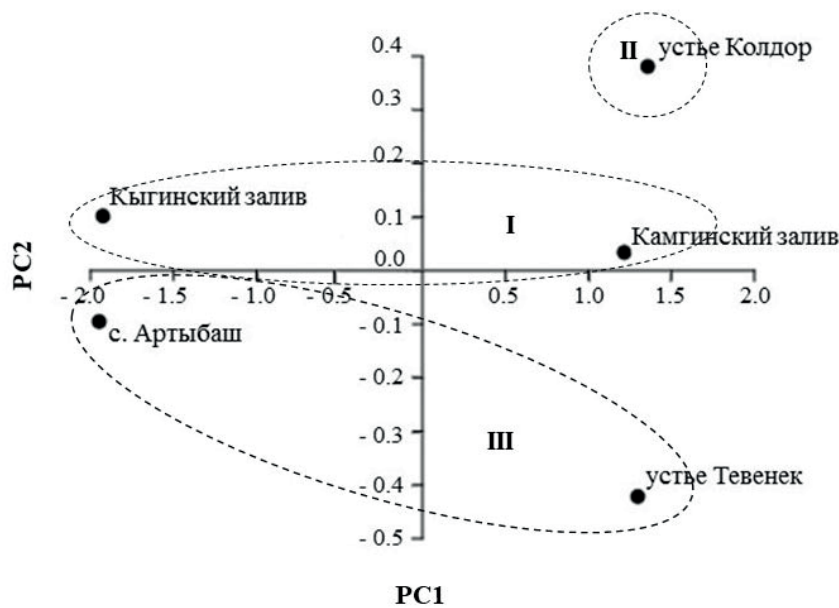


Рис. 4. Диаграмма рассеяния главных компонент (Scores plot), построенная по методу главных компонент (PCA)

Fig. 4. PCA scores scatter plot

Результаты анализа данных по методу главных компонент (PCA) подтверждают обособление трех групп участков: заповедные акватории со стабильной продуктивностью (Кыгинский, Камгинский заливы); зона локального эвтрофирования (устье р. Колдор), характеризующаяся ростом биомассы; зоны рекреационной деградации (с. Артыбаш, устье р. Тевенек), где зафиксировано резкое снижение показателей. Совокупность полученных данных свидетельствует о ведущей роли антропогенного фактора в трансформации растительного покрова литорали Телецкого озера.

Обсуждение

Большая глубина, незначительная площадь литорали, низкие летние температуры воды, высокая ветро-волновая активность, преобладание валунно-галечниковых и песчано-галечниковых грунтов в береговой зоне, а также низкие концентрации биоген-

ных элементов обуславливают ограниченную пригодность Телецкого озера для развития высшей водной и прибрежно-водной растительности. Вследствие этого видовое разнообразие гидрофильной флоры озера невелико и сопоставимо с таковым других крупных олиготрофных водоёмов Голарктики: озера Байкал (86 видов [Азовский, Чепиного, 2007]), Онежского озера (80 видов [Калинкина и др., 2017]) и озера Имандра (59 видов [Разумовская, Петрова, 2017]).

Наиболее благоприятными для развития макрофитов являются мелководные участки Кыгинского и Камгинского заливов, приустьевые участки крупных притоков, а также район северо-западного мелководья, где влияние лимитирующих факторов ослаблено. По ориентировочным оценкам, общая площадь зарослей полупогруженных и погруженных видов составляет около 30% площади литорали озера [Зарубина, Соколова, 2008].

Максимальное число видов (46) за весь период исследований зарегистрировано в мелководных и хорошо прогреваемых летом водоёмах дельты реки Чулышман, которые гидрологически связаны с озером лишь в период половодья, а в межень изолированы. Степень зарастания этих водоёмов в отдельные годы достигает 70%. На втором месте по видовому богатству (37 видов) находится Камгинский залив, где зарастание верхней мелководной части стабильно высоко и варьирует в пределах 50–70%. Около 30 видов отмечено в устье реки Самыш и в районе села Артыбаш.

Сравнение данных, полученных в 2023 г. с данными 2001–2006 гг. показало, что за более чем 20-летний период на отдельных участках озера произошла трансформация растительного покрова. Особенно значительные изменения произошли на участках с высокой рекреационной нагрузкой. Из состава доминантов растительных сообществ в районе устья реки Тевенек и посёлка Артыбаш исчезли такие виды, как *Potamogeton alpinus*, *P. crispus*, *Ranunculus kauffmanii*, *Callitriche palustris* и др. В то же время появились новые доминанты –

Stuckenia vaginata и *Butomus umbellatus*, ранее отмечавшиеся в устье реки Тевенек лишь единично. Особый интерес представляет находка *Potamogeton maackianus* в районе причала у посёлка Артыбаш на участке с умеренным антропогенным воздействием. Данный вид ранее не регистрировался в Телецком озере и в целом в Западной Сибири, но широко распространён в озере Байкал, где встречается на глубинах 2.0–2.5 м [Азовский, Чепинога, 2007].

Изменения затронули также степень зарастания, плотность ценозов, процент проективного покрытия и биомассу доминирующих видов (табл. 4). Средняя фитомасса погруженных растений (гидрофитов) в исследованных участках Телецкого озера в 2001–2006 гг. составляла 85.1 ± 7.7 г/м², полупогруженных (гелофитов) – 180.3 ± 20.6 г/м² [Зарубина, Соколова, 2006]. К 2023 году биомасса гидрофитов снизилась в 1.6 раза (в среднем 53.1 ± 14.4 г/м²), тогда как биомасса гелофитов значительно не изменилась (177.6 ± 23.2 г/м²). Отмеченные сдвиги характерны преимущественно для участков, подверженных интенсивной рекреации: устья рек Колдор и Тевенек, а также район села Артыбаш.

Таблица 4

Биомасса водных и прибрежно-водных фитоценозов Телецкого озера в 2001–2006 и 2023 гг.

Table 4

Biomass of aquatic and coastal-aquatic phytocenoses in Lake Teletskoye in 2001–2006 and 2023

Место наблюдений	Биомасса, г/м ²			
	Водные		Прибрежно-водные	
	2001–2006 гг.	2023 г.	2001–2006 гг.	2023 г.
	среднее	среднее	среднее	среднее
Кыгинский залив	60.9 ± 15.3	28.0 ± 4.0	–	–
Камгинский залив	75.3 ± 10.6	72.0 ± 16.0	150.8 ± 27.9	166.5 ± 41.9
устье р. Колдор	94.2 ± 33.9	167.3 ± 23.7	146.8 ± 10.4	226.0 ± 34.0
устье р. Тевенек	102.3 ± 20.0	28.0 ± 12.0	242.6 ± 42.4	164.5 ± 40.1
с. Артыбаш	100.1 ± 20.2	18.0 ± 2.0	–	–

В устье реки Колдор на фоне увеличения площади зарастания литорали отмечен рост биомассы как погруженных, так и воздушно-водных растений – в 1.8 и 1.5 раза соответственно. Вероятной причиной является эвтрофирование вследствие поступления биогенных элементов со сточными водами расположенных на берегу туристических баз и кемпингов. Это подтверждается гидрохимическими показателями, соответствующими водам β -мезосапробного эвтрофного – α -мезосапробного политрофного типа с умеренным уровнем загрязнения.

Противоположная тенденция зафиксирована в районе села Артыбаш и устья реки Тевенек, где отмечено значительное сокращение степени зарастания литорали. Биомасса погруженных видов в устье реки Тевенек снизилась в 3.7 раза, полупогруженных – в 1.5 раза. В районе Артыбаша деградация водных фитоценозов была более интенсивной: плотность ценозов *Potamogeton perfoliatus* сократилась в 3.5

раза, а биомасса снизилась в 5.6 раз по сравнению с периодом 2001–2006 гг. (рис. 5).

В Камгинском и Кыгинском заливах, расположенных на заповедной территории, значимых изменений в видовом составе, степени зарастания и биомассе доминантных видов не отмечено.

Поскольку существенные трансформации в составе, структуре и продуктивности макрофитов за рассматриваемый период зафиксированы исключительно на участках, подверженных антропогенному воздействию, наиболее вероятной причиной изменения здесь характера растительного покрова является возросшая рекреационная нагрузка. Интенсификация использования маломерных судов, наблюдаемая в последнее десятилетие, приводит к механическому разрушению растительных сообществ, а активная застройка прибрежной полосы создаёт дополнительные негативные условия для формирования и функционирования водных фитоценозов.

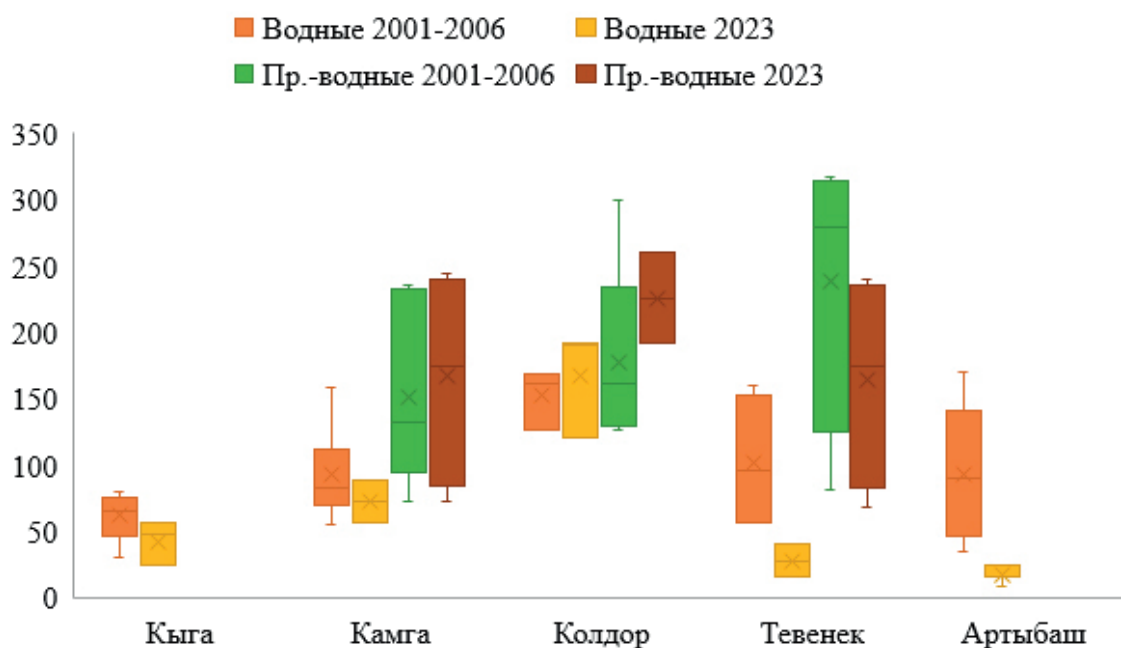


Рис. 5. Биомасса водных и прибрежно-водных растений в Телецком озере в 2001–2006 и 2023 гг.
Fig. 5. Biomass of aquatic and coastal-aquatic plants in Lake Teletskoye in 2001–2006 and 2023

Учитывая ключевую роль высших водных растений в процессах самоочищения водоёма, а также их значение как среды обитания и кормовой базы для гидробионтов, сокращение площади распространения и продуктивности макрофитов на участках с высокой антропогенной нагрузкой может привести к долгосрочным негативным последствиям для экосистемы озера.

Сходные эффекты рекреационного воздействия на растительный покров отмечены в крупных северных озёрах: Ладожском и Онежском [Андронникова, Распопов, 2003; Распопов, 2011], а также в северных холодноводных озерах Имандра [Терентьева и др., 2017] и Тургояк [Захаров, 2020].

Заключение

На основании проведённого анализа состава, распределения и динамики водной растительности Телецкого озера можно сделать следующие выводы.

Флора макрофитов озера, насчитывающая 88 видов, характеризуется низким видовым разнообразием, что типично для крупных глубоководных олиготрофных водоёмов Голарктики и сопоставимо с флорой Байкала, Онежского озера и Имандры. Её структура отражает региональные закономерности: основу составляют покрытосеменные (94%) с преобладанием гидрофильной линии однодольных при высокой доле маловидовых семейств среди двудольных.

Распространение растительности в озере лимитируется комплексом абиотических факторов: большой глубиной, узкой литоралью, низкой летней температурой воды, высокой волновой активностью, каменистыми грунтами и низкой трофно-

стью. Наиболее благоприятные условия для развития макрофитов складываются в защищённых заливах (Камгинский, Кыгинский), приустьевых участках крупных притоков и на северо-западном мелководье, где зарастание литорали достигает 30%.

За период с 2001–2006 по 2023 гг. выявлена значительная трансформация растительного покрова, которая носит разнонаправленный характер в зависимости от типа антропогенного воздействия. В зонах прямого рекреационного пресса (устья рек Колдор, Тевенек, район с. Артыбаш) зафиксирована деградация фитоценозов: изменение состава доминантов (исчезновение *Potamogeton alpinus*, *P. crispus*), сокращение степени зарастания и плотности ценозов (в 3.5–5.6 раза для погруженных гидрофитов), а также снижение биомассы макрофитов в среднем в 1.6 раза. В то же время в районах локального поступления биогенов (устье р. Колдор) наблюдается процесс эвтрофирования, подтверждаемый положительной корреляцией между биомассой макрофитов и величиной БПК₅ ($r_s = 0.62$, $p < 0.05$), что ведёт к локальному увеличению продуктивности.

Статистические закономерности, выявленные методом главных компонент, подтверждаются данными гидрохимического анализа и дистанционного зондирования [Андреева и др., 2022]. На участках с повышенной рекреационной нагрузкой они указывают на критическое состояние фитоценозов, тогда как отсутствие значимых изменений на заповедных территориях доказывает эффективность природоохранного режима для сохранения уязвимых олиготрофных экосистем. Полученные данные

соответствуют тенденциям, отмеченным и на других крупных озёрах (Ладожское, Онежское, Имандра), где также отмечено негативное влияние хозяйственной деятельности на прибрежные сообщества [Поздняков, Кондратьев, 2022; Нигаматзянова, Федорова, 2015].

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что ключевым фактором современных изменений растительного покрова Телецкого озера является антропогенный, прежде всего рекреационная нагрузка. Высшие водные растения, играющие важную роль в самоочищении водо-

ёма, выступают чувствительными индикаторами этого воздействия. Наблюдаемое сокращение их продуктивности и разнообразия на нарушенных участках в долгосрочной перспективе может привести к снижению устойчивости экосистемы озера в целом.

Таким образом, сохранение уникальной флоры Телецкого озера требует внедрения системы регулярного мониторинга состояния прибрежных фитоценозов и разработки мер по регулированию рекреационной деятельности в наиболее уязвимых участках.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН с использованием оборудования ЦКП НИС ИВЭП СО РАН.

Список литературы

Азовский М.Г., Чепинога В.В. Высшие водные растения озера Байкал. Иркутск: Изд-во Иркутский госуниверситет, 2007. 157 с.

Андреева И.В., Головин А.В., Рыбкина И.Д., Циликаина С.В. Оценочные исследования рекреационного комплекса озера Телецкое в целях совершенствования политики сохранения экосистемы водоёма // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4. С. 20–27.

Андронникова И.Н., Распопов И.М. Основные проблемы многолетнего мониторинга литоральной зоны больших озёр // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озёр. Санкт-Петербург: АССПИН. 2003. С. 295–299.

Архипова И.В., Андреева И.В., Циликаина С.В. Оценка водопотребления и рекреационной нагрузки водозависимых рекреационных практик на Телецком озере // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2021. Т. 62, №3. С. 5–19. doi: 10.24412/2410-1192-2021-16201

Зарубина Е.Ю. Высшая водная растительность оз. Телецкое (Конспект флоры) // Ботанические исследования Сибири и Казахстана: Сб. науч. тр. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 1996. Вып. 2. С. 61–70.

Зарубина Е.Ю., Зятев П.А. Пространственное распределение макрофитов по акватории Телецкого озера // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Мат. конф. (Барнаул, 21–22 августа 2003 г.). Барнаул, 2003. С. 35–37.

Зарубина Е.Ю., Ковешникова А.С. Гидрофильная флора Телецкого озера (конспект флоры) // Флора и растительность Алтая: Сб. науч. тр. Барнаул, 2006а. Т. 11. С. 80–85.

Зарубина Е.Ю., Ковешникова А.С. Флора и растительность Телецкого озера (Горный Алтай) // Гидробиотика 2005: VI Всерос. школа-конф., 11–16 октября 2005, Борок. Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2006б. С. 249–251.

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Продукционные характеристики макрофитов Телецкого озера // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Матер. V Межд. Научно-практ. конф. (21–23 ноября 2006 г., Россия). Барнаул: Изд-во «АзБука», 2006. С. 90–91.

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Высшая водная растительность северо-западного мелководья Телецкого озера и факторы ее формирования // Мир науки, культуры и образования. 2007. №3 (6). С. 28–31.

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Флористическое и синтаксономическое разнообразие гидрофильной растительности Телецкого озера // О состоянии и перспективах развития сети ООПТ в Республике Алтай: Мат. Междунар. научно-практической конф., посвященной 75-летию юбилею Алтайского заповедника (20–23 сентября 2007 г., Россия). Горно-Алтайск: ПАНИ, 2008. С. 95–101.

Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Динамика водных фитоценозов глубокого олиготрофного водоема в условиях возросшей антропогенной нагрузки (Телецкое озеро, Республика Алтай) // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы III Междунар. конф. (20–23 мая 2025 г., Россия). Казань: Издательство Академии наук РТ, 2025. С. 703–706.

Захаров С.Г. Динамика экологического состояния озера Тургойак // Известия Русского географического общества. 2020. Т. 152, № 1. С. 56–65.

Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Сярки М.Т. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 4–18.

Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Ленинград: Наука, 1981. 188 с.

Киприянова Л.М., Вишняков В.С., Романов Р.Е., Гопоненко А.Ю. К разнообразию и экологии сообществ харовых водорослей озер Горного Алтая // Растительность России. 2024. № 49. С. 124–138.

Киприянова Л.М., Золотухин Н.И. Водная и прибрежно-водная флора Алтайского

заповедника и прилегающих территорий. Горно-Алтайск: ФГБУ «Алтайский государственный заповедник», 2025. 151 с.

Коробенко А.Н., Анопченко Л.Ю., Гарный В.Е. Антропогенная нагрузка в районе Телецкого озера // ИнтерэкспоГеоСибирь. 2023. Т. 4, №2. С. 59–64.

Кудерина Т.М., Сулова С.Б., Грабенко Е.А., Кухта А.Е., Медведев А.А. Экологическое состояние Телецкого озера при современных изменениях окружающей среды // Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2019. № 1. С. 86–91.

Лисицына Л.И., Папченков В.Г. Флора водоемов России: Определитель сосудистых растений. М.: Наука, 2000. 237 с.

Нигаматзянова Г.Р., Федорова И.В. Оценка экологического состояния озер оазисов холмов Ларсеманн и Ширмахера (Восточная Антарктида) // Успехи современного естествознания. 2015. № 12. С. 140–144.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Папченков В.Г. Продукция макрофитов вод и методы ее изучения // Материалы Школы по гидробиологии «Гидробиология: методология и методы» (8–12 апреля 2003 г., Россия). Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2003. С. 137–145.

Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А. Диффузная биогенная нагрузка – возможная причина антропогенного эвтрофирования водоемов // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4 (32). С. 36–43. doi: 10.24852/2411-7374.2022.4.36.43

Разумовская А.В., Петрова О.В. Сосудистые растения озера Имандра // Ботанический журнал. 2017. Т. 102, № 1. С. 62–78. doi: 10.1134/S0006813617010057

Распопов И.М. Основные понятия продукционной гидробиологии применительно к макрофитам // Мат. VI Всерос. школы-конференции по водным макрофитам «Гидробиология 2005» (11–16 октября 2005 г., Россия). Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2006. С. 153–158.

Распопов И.М. Высшая водная растительность Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Нестор-История. 2011. С. 52–102.

Румянцев В.А., Дробкова В.Г., Измайлова А.В. Большие озера Европы: ресурсный потенциал и экологические проблемы // Известия Русского географического общества. 2011. Т. 143, № 2. С. 1–14.

Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро, Л., 1978, 142 с.

Телецкое озеро: научно-информационное издание. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 28 с.

Терентьева И.А., Кашулин Н.А., Денисов Д.Б. Оценка трофического статуса субарктического озера Имандра // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20, № 1–2. С. 197–204.

Флора Сибири. В 14 томах. Новосибирск: Наука, 1987–2003.

International Plant Names Index. Published on the Internet. URL: <http://www.ipni.org> (дата обращения: 23.11.2025).

Selegei V., Dehandschutter B., Klerks J., Vysotsky A. Physical and geological environment of Lake Teletskoye // Annales Sci., Geologiques. 2001. Vol. 105. P. 1–310.

Taylor P. The genus *Utricularia* – a taxonomic monograph. Kew: Royal Botanic Gardens. Kew Bulletin Additional Series; XIV. 1989. 736 p.

Wiegand G., Kaplan Z. An account of the species of *Potamogeton* L. (Potamogetonaceae) // Folia Geobotanica 1998. Vol. 33, no 3. P. 241–316. doi: 10.1007/BF03216205

References

Azovskiy M.G., Chepinoga V.V. Vysshie vodnye rasteniya ozera Baikal [Higher aquatic plants of Lake Baikal]. Irkutsk: Izdatel'stvo Irkutskii gosuniversitet, 2007. 157 p. (in Russian).

Andreeva I.V., Golovin A.V., Rybkina I.D., Tsilikina S.V. Otsenochnye issledovaniya rekreacionnogo kompleksa ozera Teleckoe v celyah sovershenstvovaniya politiki sohraneniya ekosistemy vodoema [Evaluative studies of the recreational complex of Lake Teletskoye to improve the policy of preserving the reservoir ecosystem] // Ross. zhurn. prikl. ekol. [Russ. J. Appl. Ecol.]. 2022. No. 4. P. 20–27. (in Russian).

Andronnikova I.N., Raspopov I.M. Osnovnye problemy mnogoletnego monitoringa litoral'noi zony bol'shikh ozer [Main problems of long-term monitoring of the littoral zone of large lakes] // Ohrana i racional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov Ladozhskogo ozera i drugikh bol'shikh ozer [Protection and rational use of water resources of Lake Ladoga and other large lakes]. Saint Petersburg: ASaPIN, 2003. P. 295–299. (in Russian).

Arkhipova I.V., Andreeva I.V., Tsilikina S.V. Ocenka vodopotrebleniya i rekreacionnoi nagruzki vodozavisimykh rekreacionnykh praktik na Teleckom ozere [Assessment of water consumption and recreational load of water-dependent recreational practices at Lake Teletskoye] // Izv. AO RGO [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2021. no. 3. P. 5–19. (in Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2021-16201

Zarubina E.Yu. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' oz. Teleckoe (Konspekt flory) [Higher aquatic vegetation of Lake Teletskoye (Synopsis of the flora)] // Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana: Sb. nauch. tr. [Botanical research of Siberia and Kazakhstan: Coll. sci. works]. Barnaul: Izdatel'stvo Alt. un-ta, 1996. Is. 2. P. 61–70. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Zyatev P.A. Prostranstvennoe raspredelenie makrofitov po akvatorii Teleckogo ozera [Spatial distribution of macrophytes across the water area of Lake Teletskoye] // Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii: Mater. konf., (21–22 augusta 2003 g.) [Problems of botany of South Siberia and Mongolia: Proc. conf., (Aug. 21–22, 2003)]. Barnaul, 2003. P. 35–37. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Koveshnikova A.S. Gidrofil'naya flora Teleckogo ozera (konspekt flory) [Hydrophilic flora of Lake Teletskoye (Synopsis of the flora)] // Flora i rastitel'nost' Altaya: Sb. nauch. tr. [Flora and vegetation of Altai: Coll. sci. works]. Barnaul, 2006a. Vol. 11. P. 80–85. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Koveshnikova A.S. Flora i rastitel'nost' Teleckogo ozera (Gornyi Altai) [Flora and vegetation of Lake Teletskoye (Mountain Altai)] // Gidrobotanika 2005: VI Vseros. shkola-konf. (11–16 okt. 2005 g.) [Hydrobotany 2005: VI All-Russian. school-conf (Okt. 11–16, 2005)]. Borok. Rybinsk: OAO «Rybinskii Dom pečati», 2006b. P. 249–251. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Sokolova M.I. Produkcionnye harakteristiki makrofitov Teleckogo ozera [Production characteristics of macrophytes of Lake Teletskoye] // Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii: Mater. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (21–23 nov. 2006 g.) [Problems of botany in Southern Siberia and Mongolia: Mater. V. International Scientific and practical conference (Nov. 21–23, 2006)]. Barnaul. Barnaul: Izdatel'stvo «AzBuka», 2006. P. 90–91. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Sokolova M.I. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' severo-zapadnogo melkovod'ya Teleckogo ozera i faktory ee formirovaniya [Higher aquatic vegetation of the northwestern shallows of Lake Teletskoye and the factors of its formation] // Mir nauki, kul'tury i obrazovaniya [World of Science, Culture and Education]. 2007. no. 3(6). P. 28–31. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Sokolova M.I. Floristicheskoe i sintaksonomicheskoe raznoobrazie gidrofil'noi rastitel'nosti Teleckogo ozera [Floristic and syntaxonomic diversity of hydrophilic vegetation of Lake Teletskoye] // O sostoyanii i perspektivah razvitiya seti OOPT v Respublike Altai: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii, posvyashchennoi 75-letnemu yubileyu Altayskogo zapovednika. 20–23 sentyabrya 2007 g., pos. Yailyu [On the state and prospects of the development of the protected area network in the Altai Republic: Proc. int. sci.-pract. conf., dedicated to the 75th anniversary of the Altai Nature Reserve (Sept. 20–23, 2007)]. Gorno-Altaysk: PANI, 2008. P. 95–101. (in Russian).

Zarubina E.Yu., Sokolova M.I. Dinamika vodnykh fitocenzov glubokogo oligotrofnogo vodoema v usloviyah vozrosshei antropogennoi nagruzki (Teleckoe ozero, Respublika Altai) [Dynamics of aquatic phytocenoses of a deep oligotrophic water body under conditions of increased anthropogenic load (Lake Teletskoye, Altai Republic)] // Ozero Evrazii: problemy i

puti ih resheniya. Materialy III mezhdunarodnoi konferencii (20–23 maya 2025 g.) [Lakes of Eurasia: problems and solutions. Proc. III int. conf. (May 20–23, 2025)]. Kazan': Izdatel'stvo Akademii nauk RT, 2025. P. 703–706. (in Russian).

Zaharov S. G. Dinamika ekologicheskogo sostoyaniya ozera Turgoyak [Dynamics of the ecological state of Lake Turgoyak] // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2020. Vol. 152, no. 1. P. 56–65. (in Russian).

Kalinkina N.M., Tekanova E.V., Syarki M.T. Ekosistema Onezhskogo ozera: reakciya vodnykh soobshchestv na antropogennye faktory i klimaticheskie izmeneniya [Ecosystem of Lake Onega: response of aquatic communities to anthropogenic factors and climate change] // Vodnoe hozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water Manag. Russ.]. 2017. no. 1. P. 4–18. (in Russian).

Katanskaya V.M. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' kontinental'nykh vodoemov SSSR. Metody izucheniya [Higher aquatic vegetation of continental water bodies of the USSR. Methods of study]. Leningrad: Nauka, 1981. 188 p. (in Russian).

Kipriyanova L.M., Vishnyakov V.S., Romanov R.E., Goponenko A.Yu. K raznoobraziyu i ekologii soobshchestv harovykh vodoroslei ozer Gornogo Altaya [On the diversity and ecology of charophyte algae communities in lakes of the Mountain Altai] // Rastitel'nost' Rossii [Veget. Russ.]. 2024. No. 49. P. 124–138. (in Russian).

Kipriyanova L.M., Zolotuhin N.I. Vodnaya i pribrezhno-vodnaya flora Altayskogo zapovednika i prilegayushchih territorii [Aquatic and coastal-aquatic flora of the Altai Nature Reserve and adjacent territories]. Gorno-Altaysk: FGBU «Altayskii gosudarstvennyi zapovednik», 2025. 151 p. (in Russian).

Korobenko A.N., Anopchenko L.Yu., Garnyi V.E. Antropogennaya nagruzka v raione Teleckogo ozera [Anthropogenic load in the area of Lake Teletskoye] // InterekspoGeoSibir' [Interexpo GEO-Siberia]. 2023. Vol. 4, no. 2. P. 59–64. (in Russian).

Kuderina T.M., Suslova S.B., Grabenko E.A., Kukhta A.E., Medvedev A.A. Ekologicheskoe sostoyanie Teleckogo ozera pri sovremennykh izmeneniyah okruzhayushchei sredy [Ecological state of Lake Teletskoye under modern environmental changes] // Polevye issledovaniya v Altaiskom biosfernom zapovednike [Field research in the Altai Biosphere Reserve]. 2019. No. 1. P. 86–91. (in Russian).

Lisitsyna L.I., Papchenkov V.G. Flora vodoemov Rossii: Opredelitel' sosudistyykh rastenii [Flora of water bodies of Russia: Key to vascular plants]. Moscow: Nauka, 2000. 237 p. (in Russian).

Nigamatyanova G.R., Fedorova I.V. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya ozer oazisov

holmov Larsemann i Shirmakhera (Vostochnaya Antarktida) [Assessment of the ecological state of lakes in the Larsemann and Schirmacher Hills oases (East Antarctica)] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Adv. Curr. Nat. Sci.]. 2015. no. 12. P. 140–144. (in Russian).

Oksiyuk O.P., Zhukinskii V.N., Braginskii L.P. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverhnostnykh vod sushi [Comprehensive ecological classification of surface water quality] // Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiol. J.]. 1993. Vol. 29, no. 4. P. 62–76. (in Russian).

Papchenkov V.G. Produktiya makrofitov vod i metody ee izucheniya [Production of aquatic macrophytes and methods of its study] // Materialy Shkoly po gidrobotanike «Gidrobotanika: metodologiya i metody» (8–12 april 2003 g.) [Proc. School on Hydrobotany «Hydrobotany: methodology and methods» (April 8–12, 2003)]. Rybinsk: Rybinskii Dom pechati, 2003. P. 137–145. (in Russian).

Pozdnyakov Sh. R., Kondrat'ev S. A. Diffuznaya biogennaya nagruzka – vozmozhnaya prichina antropogennogo evtrofirovaniya vodoemov [Diffuse nutrient load as a possible cause of anthropogenic eutrophication of water bodies] // Ross. zhurn. prikl. ekol. [Russ. J. Appl. Ecol.]. 2022. no. 4 (32). P. 36–43. doi: 10.24852/2411-7374.2022.4.36.43. (in Russian).

Razumovskaya A.V., Petrova O.V. Sosudistye rasteniya ozera Imandra [Vascular plants of Lake Imandra] // Botanicheskii zhurnal [Bot. J.]. 2017. Vol. 102, no. 1. P. 62–78. (in Russian). doi: 10.1134/S0006813617010057

Raspopov I.M. Osnovnye ponyatiya produkcionnoi gidrobiologii primenitel'no k makrofitam [Basic concepts of production hydrobiology in relation to macrophytes] // Materialy VI Vserossiiskoi shkoly-konferencii po vodnym makrofitam «Gidrobotanika 2005» (11–16 oct. 2005 g.) [Proc. VI All-Russ. School-Conf. on Aquatic Macrophytes «Hydrobotany 2005» (October 11–16, 2005)]. Rybinsk: Rybinskii Dom pechati, 2006. P. 153–158. (in Russian).

Raspopov I.M. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' Ladozhskogo ozera [Higher aquatic vegetation of Lake Ladoga] // Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera [Littoral zone of Lake Ladoga]. Saint Petersburg: Nestor-Istoriya, 2011. P. 52–102. (in Russian).

Rumyantsev V.A., Drabkova V.G., Izmailova A.V. Bol'shie ozera Evropy: resursnyi potencial i ekologicheskie problemy [Large lakes of Europe: resource potential and environmental problems] // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva [Bull. Russ. Geogr. Soc.]. 2011. Vol. 143, no. 2. P. 1–14. (in Russian).

Selegei V.V., Selegei T.S. Teleckoe ozero [Lake Teletskoye]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 142 p. (in Russian).

Teleckoe ozero: nauchno-informacionnoe izdanie [Lake Teletskoye: scientific and information publication]. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2012. 28 p. (in Russian).

Terent'eva I.A., Kashulin N.A., Denisov D.B. Ocenka troficheskogo statusa subarkticheskogo ozera Imandra [Assessment of the trophic status of the subarctic Lake Imandra] // Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bull. MSTU. Proc. Murmansk State Tech. Univ.]. 2017. Vol. 20, no. 1–2. P. 197–204. (in Russian).

Flora Sibiri [Flora of Siberia]. In 14 vols. Novosibirsk: Nauka, 1987–2003. (in Russian).

International Plant Names Index. Published on the Internet. URL: <http://www.ipni.org> (accessed: 23.11.2025).

Selegei V., Dehandschutter B., Klerks J., Vysotsky A. Physical and geological environment of Lake Teletskoye // Annales Sci., Geologiques. 2001. Vol. 105. P. 1–310.

Taylor P. The genus *Utricularia* – a taxonomic monograph. Kew: Royal Botanic Gardens. Kew Bulletin Additional Series; XIV. 1989. 736 p.

Wiegand G., Kaplan Z. An account of the species of *Potamogeton* L. (Potamogetonaceae) // Folia Geobotanica 1998. Vol. 33, no 3. P. 241–316. doi: 10.1007/BF03216205

CURRENT STATE AND DYNAMICS OF HIGHER AQUATIC VEGETATION IN LAKE TELETSKOYE UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACT

E. Yu. Zarubina, M.I. Sokolova

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: zeur11@mail.ru, smi1181@mail.ru

*The results of assessing the current state and long-term dynamics (2001–2006 and 2023) of higher aquatic vegetation in the littoral zone of Lake Teletskoye, a unique deep oligotrophic water body, are presented. The inventory revealed 88 species of macrophytes. A comparative analysis in protected areas (Kamga and Kyga bays) and recreational zones (estuaries of the Koldor and Tevenek rivers, Artybash settlement) showed multidirectional changes. In the protected areas, no significant changes were recorded ($p > 0.05$). In the recreational zones, degradation of phytocenoses was noted: the disappearance of sensitive species (*Potamogeton alpinus*, *P. crispus*), and a decrease in the density and biomass of submerged hydrophytes by 3.5–5.6 times (Artybash, $p < 0.001$; Tevenek River estuary, $p < 0.05$). In the Koldor River estuary, an increase in biomass was observed, correlating with elevated BOD_5 values ($r_s = 0.62$, $p < 0.05$), which indicates local eutrophication. Principal component analysis confirmed the separation of three site groups: stable protected areas, a eutrophication zone, and recreational degradation zones. It was established that the key factor in the transformation of the vegetation is the increase in recreational pressure, which necessitates the organization of monitoring and the regulation of tourist activities.*

Keywords: macrophytes; oligotrophic lake; Lake Teletskoye; recreational load; vegetation dynamics; anthropogenic impact; eutrophication; PCA; correlation analysis.

Received: December 25, 2025. *Accepted:* February 20, 2026

Сведения об авторах

Зарубина Евгения Юрьевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Новосибирского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-0006-3103. E-mail: zeur11@mail.ru.

Соколова Мария Ивановна – младший научный сотрудник Новосибирского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0009-0004-8156-8809. E-mail: smi1181@mail.ru.

Information about the authors

Zarubina Evgeniya Yurievna – PhD in Biology, leading research at the Novosibirsk Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-0006-3103. E-mail: zeur11@mail.ru.

Sokolova Maria Ivanovna – Junior research scientist at the Novosibirsk Branch of the Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0009-0004-8156-8809. E-mail: smi1181@mail.ru.

Журнал
Известия Алтайского отделения
Русского географического общества

№ 1 (80) 2026

Регистрационный номер СМИ от 31.08.2021

ПИ № ТУ22-00790

Зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
по Алтайскому краю и Республике Алтай

Подписано в печать 17.03.2026. Дата выхода в свет 23.03.2026.

Формат 60x84 1/8. Печать – цифровая. П.л. 12.0

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Пять плюс»
656049, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Крупской, 97,
Тел.: +7(385-2) 62-32-07,
e-mail: fiveplus07@mail.ru
www.five-plus.ru

Цена свободная

Возрастная категория – 12+