

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

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

Журнал
Март 2025
Основан в 1961 году

ISSN 2410-1192
№ 1 (76)
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., чл. корр. 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
Кирста Ю.Б., д.б.н., проф., г. Барнаул
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, 2025
г. Барнаул – 2025

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, 2025
Founded in 1961

ISSN 2410-1192
No 1 (76)
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)

C.M. 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. Yu.B. Kirsta (Barnaul, 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, 2025

Barnaul – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ГЕОЛОГИЯ

<i>Гусев А.И., Дудина В.В., Зацепин Т.А.</i> НЕКОТОРЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ «ПОРФИРОВ» ЛОКТЕВСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ).....	5
--	---

РАЗДЕЛ 2. ГЕОЭКОЛОГИЯ

<i>Трошкова И.А., Ельчининова О.А., Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А.</i> РТУТЬ В ПОЧВАХ РЕКРЕАЦИОННЫХ РАЙОНОВ БАССЕЙНА НИЖНЕЙ КАТУНИ.....	20
--	----

РАЗДЕЛ 3. ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ГИДРОХИМИЯ

<i>Савичев О.Г., Домаренко В.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВОДРАЗДЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТНОГО МАССИВА В ВОДОСБОРЕ РЕКИ МУРА (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	41
--	----

<i>Фёдоров М.П., Тананаев Н.И.</i> ОЦЕНКА ЗАТОРНОЙ ОПАСНОСТИ НА УЧАСТКЕ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЛЕНА ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ И ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ.....	53
---	----

<i>Цхай А.А., Романов М.А.</i> ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ В ТЕЛЕЦКОМ ОЗЕРЕ.....	67
--	----

РАЗДЕЛ 4. ЭКОЛОГИЯ

<i>Демидова А.А., Русановская О.О., Шимараева С.В., Зилов Е.А.</i> СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА ПЕЛАГИАЛИ ЮЖНОГО БАЙКАЛА (НАПРОТИВ ПОСЁЛКА БОЛЬШИЕ КОТЫ).....	76
---	----

РАЗДЕЛ 5. ИСПРАВЛЕНИЕ

<i>Попова О.Н.</i> ИСПРАВЛЕНИЯ К СТАТЬЕ «РОССИЙСКИЙ ОДОНАТОЛОГ Б.Ф. БЕЛЫШЕВ И ЕГО НАСЛЕДИЕ. В КАНУН 115-ЛЕТИЯ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ».....	90
---	----

CONTENTS

SECTION 1. GEOLOGY

<i>Gusev A.I., Dudina V.V., Zatsepin T.A.</i> SOME GEOLOGY-GEOCHEMICAL ASPECT OF "PORPHYRES" LOKTEV MANIFESTATION OF RUDNYY ALTAY.....	5
--	---

SECTION 2. GEOECOLOGY

<i>Troshkova I.A., Elchininova O.A., Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A.</i> MERCURY IN SOILS OF RECREATIONAL AREAS OF THE LOWER KATUNYA BASIN.....	20
--	----

SECTION 3. HYDROLOGY OF LAND, WATER RESOURCES, HYDROCHEMISTRY

<i>Savichev O.G., Domarenko V.A.</i> FEATURES OF THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE AND GROUND WATERS IN THE CATCHMENT SITES OF THE VASYUGAN BOG MASSIF IN THE MURA RIVER CATCHMENT (TOMSK REGION).....	41
<i>Fedorov M.P., Tananaev N.I.</i> ASSESSMENT OF ICE HAZARD IN THE MIDDLE LENA RIVER USING HYDROLOGICAL AND GPR DATA.....	53
<i>Tskhai A.A., Romanov M.A.</i> HYDROLOGICAL FEATURES OF SILICON RETENTION IN THE LAKE TELETSKOYE.....	67

SECTION 4. ECOLOGY

<i>Demidova A.A., Rusanovskaya O.O., Shimaraeva S.V., Silow E.A.</i> SEASONAL DYNAMICS OF ZOOPLANKTON OF THE SOUTHERN BAIKAL PELAGIAL (OPPOSITE THE VILLAGE OF BOLSHIYE KOTY).....	76
--	----

SECTION 5. ERRATUM

<i>Popova O.N.</i> ERRATUM TO "RUSSIAN ODONATOLOGIST B.F. BELYSHEV AND HIS LEGACY: ON THE EVE OF THE 115TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH".....	90
---	----

Раздел 1

ГЕОЛОГИЯ

Section 1

GEOLOGY

УДК 549.2/.8:548

НЕКОТОРЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ «ПОРФИРОВ» ЛОКТЕВСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)

А.И. Гусев, В.В. Дудина, Т.А. Зацепин

*Алтайский государственный педагогический университет, Бийск,**E-mail: anzerg@mail.ru*

В статье приведены новые данные о геолого-геохимических особенностях порфиров Локтевского проявления с акцентом на условия образования, абсолютный возраст и применение. Локтевское проявление «порфиров» приурочено к одноименному интрузивному массиву, относящемуся к волчихинскому комплексу. Массив сложен 3 фазами внедрения: 1 – габброидами, 2 – кварцевыми диоритами и плагиогранитами (тоналитами), 3 – гранитами и лейкогранитами. «Порфиры» Локтевского проявления представлены чёрными и зеленоватыми разностями габброидов и кварцевых диоритов и в связи с современными требованиями должны называться порфиритами. U-Pb возраст определён по циркону (SHRIMP II) и составил 320 млн. лет, что отвечает раннему карбону. Средне-основные разности пород массива формировались из глубинных мантийных расплавов с участием плюмового источника. Кислые разности пород генерированы мантийно-коровым взаимодействием с контаминацией корового материала. С глубинным очагом, формировавшим породные типы массива связан большой комплекс эндогенного оруденения, относящийся к стратегическому сырью. Прогнозные ресурсы «порфиров» категории P_2 оценены в 1.54 млн. тонн. Они могут использоваться, как поделочное сырьё.

Ключевые слова: габброиды; кварцевые диориты; тоналиты; абсолютный возраст; плюмовый источник; декоративное поделочное сырьё.

DOI:10.24412/2410-1192-2025-17601

Дата поступления: 7.11.2024. Принята к печати: 16.12.2024

Порфир в переводе с древнегреческого означает «красный» или «пурпурный». Он стал использоваться мастерами еще в древнем Египте для изготовления саркофагов, считался символом богатства и власти. Различают две разновидности порфиров: тёмно-розовый и чёрный. Порфир на Алтае является визитной карточкой природных камней региона и в его пределах имеются обе разновидности [Гусев, 2020]. Чёрный порфир Локтевского проявления известен давно и, к сожалению, былая слава его изделий стала забываться. Хотя изделия из него (вазы, столешницы) имеются во многих музеях России и зарубежья. «Порфиры»

Локтевского проявления привлекают внимание геологов и своим составом, и необычной историей происхождения. Они относятся по современным представлениям к волчихинскому комплексу, а ранее название «порфиров» следует для базитовых разностей заменить порфиритами. Порфир в настоящее время применим только для кислых разностей пород – гранитоидов [Петрографический кодекс..., 2009].

В Рудном Алтае развиты различные типы интрузивных горных пород: от базитовых до гранитоидов [Гусев и др., 2011; Гусев, 2021; Гусев, Гусев, 2023]. Интрузивный магматизм волчихинского комплекса своеобразен и не получил должного освещения в открытой печати. С кислыми интрузиями волчихинского комплекса связаны различные типы эндогенного оруденения: олова, вольфрама, молибдена, золота и редких земель, которые входят в число стратегических металлов России. С базитовым магматизмом комплекса пространственно и парагенетически связано жильное золотое и медное оруденение, а также поделочный камень, получивший название – «порфир».

В связи с этим актуальность исследования «порфиров» заключается в определении абсолютного возраста, фазового состава рудогенерирующего потенциала Локтевского массива.

Цель исследования – на основе использования современных лабораторных данных, а также геохимических и петрологических критериев выявить особенности генезиса и определить перспективы Локтевского проявления на «порфиритовое» сырьё.

Материалы и методы

Полевые работы проведены Гусевым А.И. в ходе полевой экспедиции РГО в 2022–2023 годах. Выполненные анализы: определение абсолютного возраста уран-свинцовым методом по циркону (SHRIMP II), определение изотопов Sm и Nd, а также силикатный на главные компоненты химическим методом и для микроэлементов – методом ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ВСГЕИ (г. Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (г. Москва). Изучение петрографического состава пород выполнено на микроскопе ПОЛАМ РП-1 в Лаборатории Петрологии и металлогении золота Алтайского государственного университета, Бийский филиал им. В.М. Шукшина. Пригодность порфиритов для изготовления декоративных изделий осуществлялось в Лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и включало определение по ГОСТ: полируемости, а также физических и теплофизических характеристик. Определение радиоактивности порфиритов проведено радиометром по образцам в Горно-Алтайской экспедиции (с. Малоенисейское).

Результаты и обсуждение

Геолого-геохимическая характеристика Локтевского проявления порфиров. В Рудно-Алтайской структурно-формационной зоне волчихинский габбро-тоналит-гранитовый комплекс образует две ветви линейно расположенных тел, контролируемых разломами северо-западного направления. Западная ветвь (Орловский ареал) объединяет Локтевский, Антошихинский и Сугатовско-

Шемонаихинский массивы. Восточная (Боровлянский ареал), приуроченная к северо-восточному крылу Алейского поднятия, в Российской части Рудно-Алтайской зоны представлена Сосновским массивом.

В составе комплекса выделяются три основные фазы внедрения: 1) габброиды, 2) кварцевые диориты и плагиограниты (тоналиты), 3) граниты и лейкограниты. Широким распространением пользуются дайки и разнообразной морфологии малые интрузии, сложенные диорит-порфиритами, тоналит-, гранодиорит-, плагиогранит-, и гранит-порфирами, редко дацитами и риодацитами.

Локтевскому проявлению в плане соответствует неоднородное положительное магнитное поле напряженностью 300–400 нТл над гранитной фазой. Положительное гравитационное поле и повышенные аномальные значения магнитного поля, предполагают наличие габброидов первой фазы, расположенных в южной части массива, где выделено Локтевское проявление.

Описание пород Локтевского проявления. Ранняя фаза габброидов весьма разнообразна по своей цветовой

гамме, составу (габбро-порфириты, габбро-долеритовых порфиритов и других), наличию порфировых выделений плагиоклаза, придающих породе декоративный облик. Структура пород порфировая. Под микроскопом в габбро-порфиритах обнаруживается габбровая микроструктура основной ткани. Состав габбро (%): плагиоклаз (An_{55-70}) – 55–60, гиперстен – 10–15, клинопироксен – 10–25, оливин – 0–10, роговая обманка – 10–15. Акцессорные минералы представлены титаномagnetитом, magnetитом, пиритом, пирротинном, реже – цирконом, алланитом. При этом по периферии габброидного тела выделяются разности более тёмные (рис. 1), а ближе к центру – с зеленоватым оттенком (рис. 2). Местами в габброидах отмечаются меланократовые включения черной окраски, представленные базальтовыми порфиритами размерами от 0.5×1 до 3×5 см. (рис. 3). Мафитовые включения базальтовых порфиритов по объёму варьируют от 3 до 6%.

Следует отметить, что мафитовые включения разных размеров и форм не нарушают эстетическое восприятие готовых изделий, а органически в них вписываются (рис. 4).



Рис. 1. Чёрный порфирит из периферии массива
Fig.1. The black porphyrytes from periphery of massif



Рис. 2. Порфирит с зеленоватым оттенком
Fig. 2. Porphyrytes with greenish tint

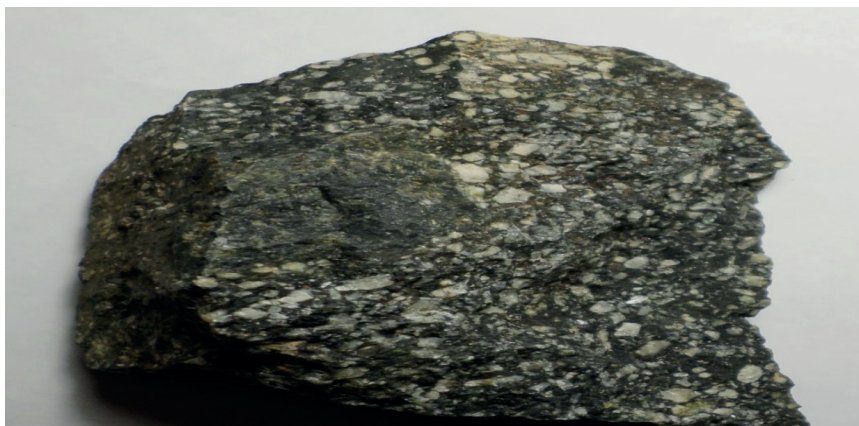


Рис. 3. Порфирит с меланократовым включением в левой части
Fig. 3. Porphyrytes with melanocratic inclusion in left part

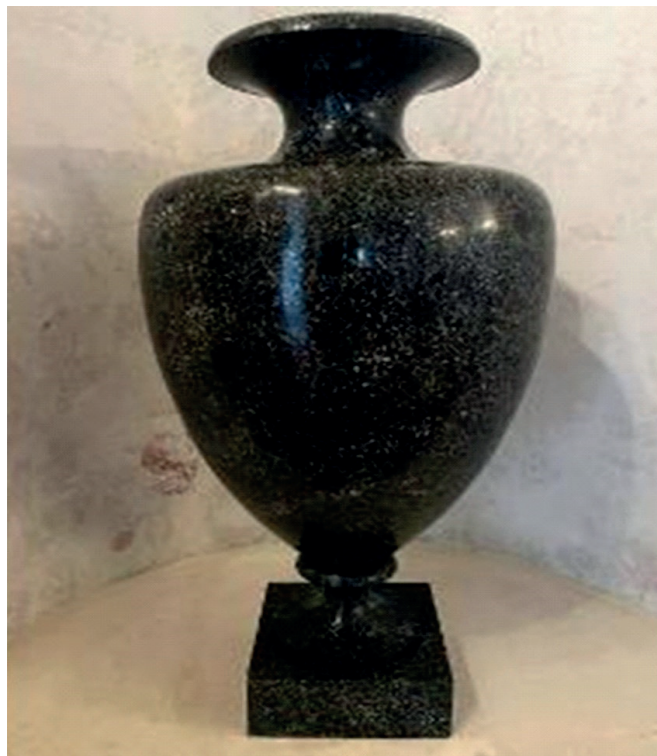


Рис. 4. Ваза из Локтевского «порфирита» Агатовых комнат Царского села
Fig. 4. Vase from Loktev porphyrytes. Agatic rooms of Tsar village

По химическому составу габбро-порфириды характеризуются как низко-титанистые, умеренно железистые ($\text{FeO}^*/\text{MgO} = 1.9$) известково-щелочные породы миаскитового ряда с низкой анпаитностью (0.22–0.23) (табл. 1).

Кварцевые диорит-порфириды массивной текстуры, мелко-среднезернистые, темно-зеленовато-серые, сменяющиеся диорит-порфиритами краевой фации. Под микроскопом они обнаруживают гипидиоморфнозернистую структуру, состоят (%) из зонального (№ 20–50) плагиоклаза – 50–60, роговой обманки – 15–20, кварца – 15–15, биотита – 10–15, калишпата – 0–15. Вторичные минералы представлены серицитом, эпидотом, цоизитом, акцессории – магнетитом, ильменитом, сфеном, цирконом. Петрохимически кварцевые диориты характеризуются как низкоглиноземистые ($\text{Shand} = 0.9$) умеренно железистые ($\text{FeO}^*/\text{MgO} = 3$) известково-

щелочные разности с аномально высокой анортитовостью ($c = 0.8$).

Тоналитовые порфиры слагают основные части Локтевского, Антошинского и Сосновского массивов. В Локтевском проявлении порфиритов – это породы розовато-серого цвета массивной текстуры равномернозернистой и порфировидной средне-, реже мелко-и крупнозернистой структуры. Под микроскопом характеризуются гранитовой, в сочетании с монцонитовой структурой, состоят (%) из кварца – 15, плагиоклаза (№ 20–36) – 35–50, калиевого полевого шпата – 12–20, биотита – 3–10. Акцессории представлены магнетитом, ильменитом, сфеном, цирконом, флюоритом. Породы характеризуются повышенной глиноземистостью ($\text{Shand} = 1.0$), умеренными железистостью ($\text{FeO}^*/\text{MgO} = 3.5–4.3$) анортитовостью ($c = 0.18$).

Таблица 1

Химический состав породных типов и мафитовых включений Локтевского проявления

Table 1

Chemical composition of rock types and mafic inclusions of Loktev manifestation
(oxides – in %, elements- in ppm)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	49.9	50.7	55.28	55.56	63.7	50.35	50.95
TiO_2	1.27	1.18	0.96	0.94	0.72	0.93	0.95
Al_2O_3	16.4	16.3	17.97	17.9	15.89	15.43	14.9
Fe_2O_3^*	10.8	10.6	7.3	7.26	5.47	9.95	11.27
MnO	0.19	0.21	0.13	0.11	0.09	0.11	0.13
MgO	5.9	5.7	4.14	4.06	2.56	6.9	7.3
CaO	8.8	8.6	7.38	7.3	5.21	7.2	8.8
Na_2O	2.5	2.4	4.23	4.3	4.17	3.4	2.3
K_2O	1.2	1.4	0.7	0.95	1.5	0.5	1.42
P_2O_5	0.23	0.22	0.2	0.1	0.15	0.05	0.12
Ппп	2.1	2.3	1.53	1.52	0.5	3.6	1.86
Сумма	99.29	99.61	100.0	100.0	100.01	98.42	100.0
V	210	208	187	190	167	327	324
Cr	298	295	267	267	234	312	304

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
Co	14.5	14.1	13.9	12.8	12.6	15.8	15.2
Ni	4.1	3.9	3.7	3.5	3.1	5.1	5.0
Rb	15.1	15.3	14.2	16.2	30.2	14.7	13.9
Sr	598	586	605	610	425	345	352
Zr	134	141	169	165	216	103	98
Nb	7.1	7.2	6.8	7.0	7.4	7.7	8.0
Y	18.7	19.0	19.9	20.2	23.7	19.2	19.1
Ga	19.5	20.1	20.3	21.5	19.9	17.8	17.3
Cs	3.1	3.3	4.2	4.1	3.3	2.7	2.5
Ba	124	122	123	130	230	98	88
La	10.9	11.1	11.2	12.0	13.8	10.7	11.2
Ce	24.4	25.4	25.5	26.1	33	23.9	25.9
Pr	3.6	3.65	3.7	3.8	4.5	3.4	3.8
Nd	15.0	15.1	14.9	15.2	19.8	14.7	15.0
Sm	3.7	3.78	3.8	3.9	4.43	3.6	4.0
Eu	1.06	1.08	1.1	1.09	1.11	0.97	0.95
Gd	3.4	3.47	3.5	3.6	3.89	3.6	3.5
Tb	0.53	0.54	0.55	0.58	0.63	0.6	0.58
Dy	3.1	3.15	3.2	3.3	3.83	3.2	3.7
Ho	0.57	0.58	0.6	0.65	0.77	0.51	0.68
Er	1.71	1.74	1.75	1.8	2.2	1.8	1.9
Tm	0.25	0.25	0.26	0.3	0.34	0.24	0.28
Yb	1.4	1.5	1.6	1.7	2.26	1.45	1.5
Lu	0.21	0.22	0.23	0.25	0.33	0.2	0.24
Hf	2.9	3.0	3.2	3.3	5.5	2.3	2.2
Ta	0.33	0.34	0.4	0.43	0.45	0.32	0.31
Pb	9.5	10.1	10.3	10.8	12.4	18.9	20.1
Th	1.4	1.45	1.43	1.5	3.8	1.2	1.1
U	0.52	0.55	0.57	0.6	1.1	0.34	0.3
Sc	28.3	27.2	22.6	22.1	21.9	30.2	33.1
Li	6.9	6.4	8.8	8.2	7.2	5.2	5.0
K _{агп}	0.22	0.23	0.27	0.29	0.36	0.25	0.25
(La/Yb) _N	5.2	5.0	4.77	4.77	4.15	5.0	5.09
Eu/Eu*	0.89	0.89	0.9	0.87	0.91	0.81	0.73
Nb/Y	0.38	0.38	0.34	0.35	0.31	0.4	0.42
Zr/Y	7.2	7.4	8.5	8.1	9.1	5.4	5.1

Примечание: оксиды – в %, элементы – в г/т.

В таблице содержания элементов нормализованы по хондриту C1 [McDonough, Sun, 1995]. Ппп – потери после прокаливания. Eu* = (SmN+GdN)/2. Кагп – коэффициент агпаитности. Породные типы Локтевского проявления: 1–2 – габбро-порфириды, 3–4 – кварцевые диоритовые порфириды, 5 – тоналитовые порфиры; мафитовые включения в габброидах: 6–7 – базальты.

Note: Contents of elements normalized on chondrites C1 [McDonough, Sun, 1995]. Eu* = (SmN+GdN)/2. Cagp – coefficient agpaitic. LOI – loss on ignition. Rock types of Loktev manifestation: 1–2 – gabbro-porphyrytes, 3–4 – quartz diorite porphyrytes, 5 – tonalite porphyres; mafic inclusions in gabbro: 6–7 – basalts.

Мафитовые включения представлены базальтами чёрной окраски сиало-интерсертальной, и пилотакситовой микроструктурной основной ткани породы; микролиты плагиоклаза, хлорит, кальцит (около 3–5%), кварц (около 7%), лейкоксен (7–10%). Среди фенокристов преобладает плагиоклаз № 60–70 – 70%, реже отмечаются пироксен – 20%, оливин – 10%. Аксессуары – магнетит, титаномagnetит, пирротин. По петрохимическим показателям – это низкотитанистые, низко-щелочные породы при преобладании натрия над калием.

По сумме щелочей и кремнекислотности породы Локтевского проявления относятся к нормальной известково-щелочной серии пород. Коэффициент агпаитности в них увеличивается незначительно от 0.22 в габброидах до 0.35 в более кислых разностях (тоналитах). Отношение лёгких к тяжёлым

редкоземельным элементам (РЗЭ) в породах указывают на умеренно-высокий тип дифференциации РЗЭ. Отношение Eu/Eu^* устойчиво ниже хондритовых значений.

Ранее возраст волчихинского комплекса считался средне-поздне-каменноугольным [Шокальский и др., 2000]. Нами проведено абсолютное датирование порфириров Локтевского ареала из габбро-долеритовых порфириров U-Pb методом по циркону (SHRIMP II) (рис. 5). Он составил 320 млн. лет, отвечая раннекаменноугольной стадии, т.е. более древний, чем считалось ранее.

На петрохимической диаграмме $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ все породные типы Локтевского проявления выстраиваются вдоль линии раздела умеренно-щелочной и известково-щелочной серий, локализуясь в пределах последней. Фигуративная точка тоналитового порфира располагается в кислой области диоритов (рис. 6).

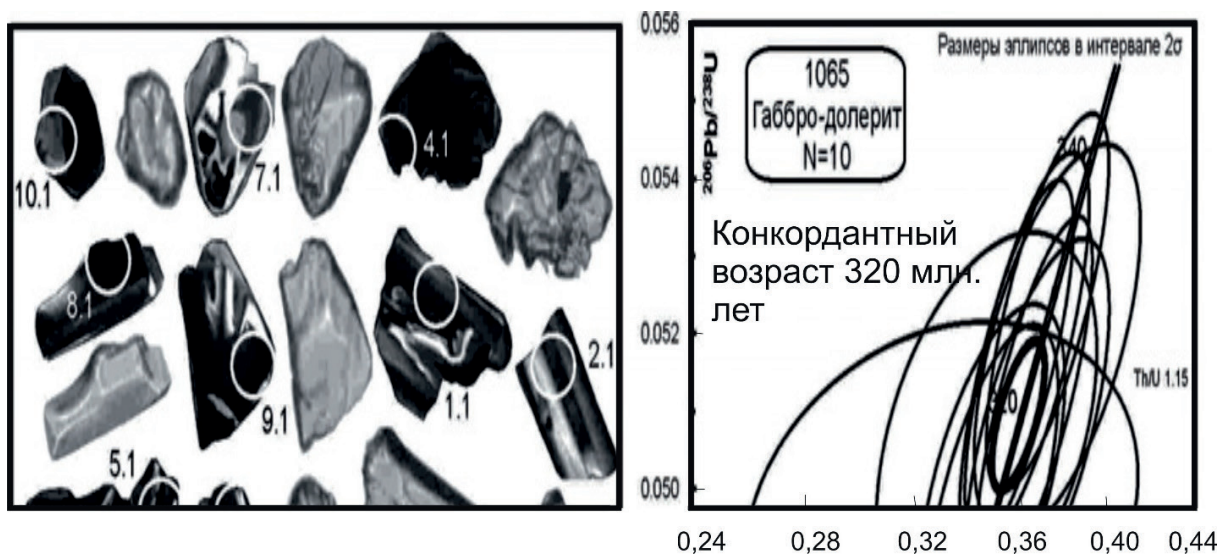


Рис. 5. Католюминесцентные изображения цирконов и конкордантный возраст габбро-долеритовых порфириров Локтевского массива

Fig. 5. Cathodoluminescence (CL) images of zircon and concordia of age of gabbro-dolerite porphyrites Loktev massif

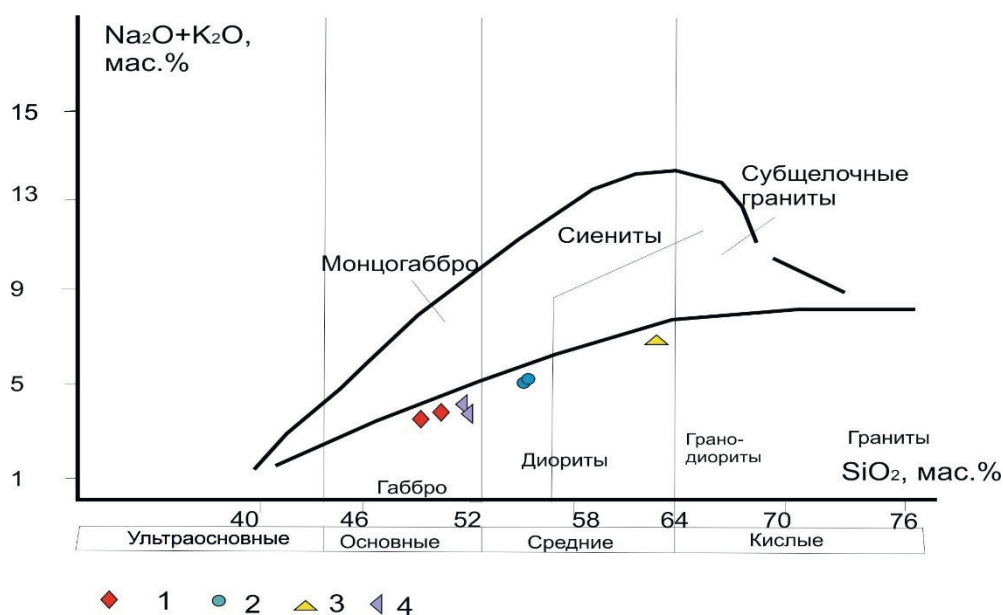


Рис. 6. Диаграмма (Na₂O+K₂O) – SiO₂ породных типов Локтевского массива.

1 – Габбро-порфиристы, 2 – кварцевые диоритовые порфиристы, 3 – тоналитовые порфиры, 4 – мафитовые включения базальтов

Fig. 6. Plot of (Na₂O+K₂O) – SiO₂ of rock types of Loktev massif.

Rock types of Loktev massif: 1 – gabbro-porphyrates, 2 – quartz diorite porphyrites, 3 – tonalite porphyries, 4 – mafic inclusions of basalts

Интерпретация результатов

Известно, что в начале XVIII века в горах и предгорьях Алтая были обнаружены залежи цветных камней, в том числе порфира. Однако долгие годы они оставались невостребованными. С 1786 г., после того как обер-гиттенфервальтером (а именно – старшим заводским управителем) П.И. Шангиным, горным инженером Колывано-Воскресенских заводов, были обнаружены порфиры высокого качества в ущелье реки Коргон, начались работы по добыче. Коргонский порфир нашел свое применение в качестве украшения богатых дворцов и роскошных особняков столичной знати. Из него делали барельефы, скульптуры, различные малые архитектурные формы (вазы, столешницы, шахматные фигуры, шкатулки). По описям тех лет видно, что местный порфир имел несколько отличий: светло-

багровый, красный, темно-кофейный и сине-фиолетовый. Массовая добыча и использование Коргонского порфира продолжались в течение активного строительства новой столицы (Санкт-Петербурга) и закончилось после отмены крепостного права, в связи с исчезновением дешевой рабочей силы. Вплоть до окончания XIX века еще использовались блоки, заготовленные в 1830–1850-х гг., но позже месторождение не разрабатывалось из-за труднодоступности и, соответственно, дороговизны работ. А ведь Коргонский порфир был и относится по своим декоративным свойствам к декоративным и высокодекоративным камням. Что подтверждается использованием его в наиболее значимых постройках, таких, например, как мемориальный Собор Воскресения Христова на Крови, более известный как храм Спаса на Крови в Санкт-Петербурге. Для того, чтобы объ-

ективно оценить декоративные свойства и возможность использования Локтевских порфиринов в качестве поделочного камня, следует сопоставить важнейшие характеристики с Коргонским порфировым эталоном, прошедшим проверку по многим декоративным показателям. Следует отметить, что Коргонский «порфир» также следует относить к порфиритам.

Нами проведены определения физико-механических и теплофизических свойств и сопоставление «порфиринов» Коргонских и Локтевских, сведенных в табл. 2.

Приведенные данные показывают, что по многим показателям Локтевские «порфириды» близки к Коргонским, а по теплофизическим свойствам они лучше Коргонских. По удельной теплоёмкости, коэффициенту теплового расширения и радиоактивности – они более предпочтительны, чем Коргонские. По этим показателям они могут использовать-

ся для получения более долговечных декоративных изделий, обладающих меньшей радиоактивностью, чем Коргонские. Локтевский карьер «порфиринов» имеет прекрасные горнотехнические условия с развитой инфраструктурой и сетью дорог. Прогнозные ресурсы «порфиринов» Локтевского массива категории P_2 оценены в 1.54 млн. тонн [Гусев, Одинцев, 2012].

Порфириды Локтевского проявления формировались из мантийных расплавов базальтового состава, что было показано выше. Следовательно, для выяснения глубинных петрологических особенностей и некоторых генетических аспектов формирования порфиринов можно воспользоваться специальными экспериментальными диаграммами по термодинамике и определению геодинамических обстановок генерации первичных базальтовых расплавов и канонических типов базальтов.

Таблица 2

Некоторые физические и теплофизические свойства «порфиринов» Коргонских и Локтевских по [Гусев, Одинцев, 2012]

Table 2

Some physic and thermal properties «porphyryteses» Korgon and Loktev after [Gusev, Odintsev, 2012]

Показатели	Коргонский порфирит	Локтевский порфирит
Средняя плотность, кг/м ³	2627	2630
Истинная плотность, кг/м ³	2654	2660
Предел прочности при сжатии кг/см ²	3227	3345
Снижение прочности при сжатии породы при водонасыщении, %	10.0	10.1
Пористость, %	1.03	1.01
Водопоглощение, %	0.19	0.15
Истираемость, г/см ²	0.16	0.15
Коэффициент размягчения, %	3	2.8
Удельная теплоёмкость, кДж/кг СО	0.83	0.84
Коэффициент теплового расширения, 10 ⁻⁶ /К	5.4	5.3
Радиоактивность, мкР/час	14	11

Так, на диаграмме Nb/Y – Zr/Y преобладающее число анализов пород Локтевского проявления попадает в область плюмовых источников, т.е. они имеют глубинную мантийную природу, за исключением анализа тоналитового порфира, локализуемого в поле неплюмовых источников (рис. 7). Последнее связано с вероятной контаминацией коровым материалом на путях движения расплавов из глубинных очагов и значительное их раскисление вплоть до тоналитовых порфиров.

Мафитовые включения в габброидах, представленные базальтами, попадают также в поле ОРВ (базальтов океанических плато) плюмовых источников и, вероятно, являются захваченными мантийными базальтами в глубинном очаге.

В координатах Th/Hf – Ta/Hf основная масса пород попадает в область внутриконтинентальных рифтовых толеитов (рис. 8).

Состав тоналитового порфира на этой диаграмме попадает в поле базальтов островодужных континентальных окраин. Это объясняется тем, что тоналит, вероятно, является породой, образовавшейся в результате мантийно-корового взаимодействия на путях движения мантийных расплавов к поверхности, и произошло раскисление первичного мантийного расплава.

Таким образом, геодинамическая обстановка формирования порфиров Локтевского проявления была внутриконтинентальная рифтогенная, вызванная функционированием плюма.

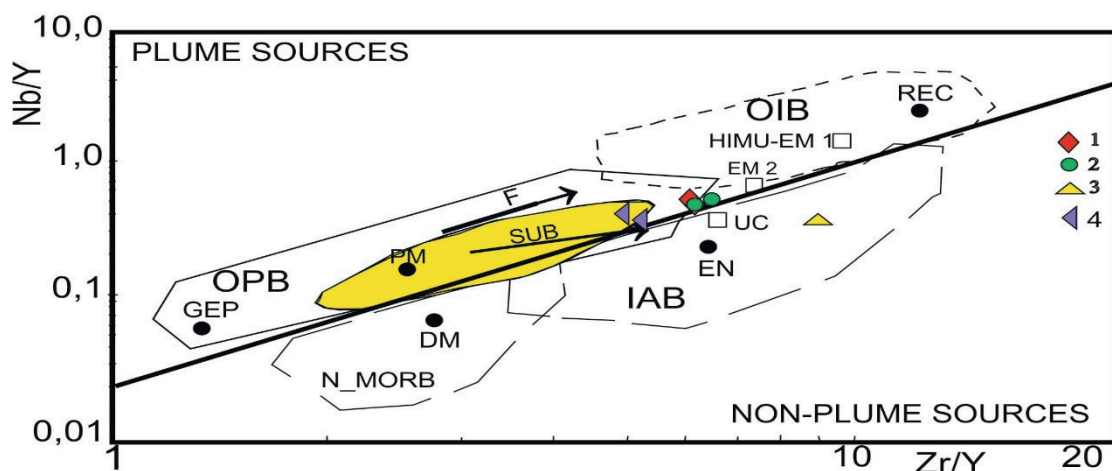


Рис. 7. Диаграмма Nb/Y – Zr/Y для пород Локтевского массива.

Контурные поля [Condie, 2005]: N-MORB – базальты COX; OPB – базальты океанических плато; OIB – базальты океанических островов; IAB – базальты островных дуг. PM – примитивная мантия. Реперные резервуары: PM – примитивная мантия; DM – неглубокая деплетированная мантия, DEP – глубокая деплетированная мантия; HIMU – источник, обогащенный U и радиогенным Pb; EM1 и EM2 – обогащенные мантийные источники; EN – обогащенный компонент верхней континентальной коры и субконтинентальной литосферы; UC – верхняя континентальная кора; REC – рециклинговый компонент. Стрелками показаны эффекты периодического плавления (F) и субдукции (SUB).

Остальные условные на рис. 6

Fig. 7. Plot of ratio Nb/Y – Zr/Y for rock types of Loktev massif.

Contours of fields [Condie, 2005]: N-MORB – basalts of COR; OPB – basalts of oceanic plate; OIB – basalts of ocean islands; IAB – basalts of oceanic arc; PM – primitive mantle; DM – non deep depletion mantle; DEP – deep depletion mantle; HIMU – source of enriched U and radiogenic Pb; EM1 and EM2 – enriched mantle sources; EN – enriched component of upper continental earth crust and subcontinental lithosphere; UC – upper continental crust; REC – recycling component. Pointers show effects periodical melting (F) and subduction (SUB). Legend in fig 6

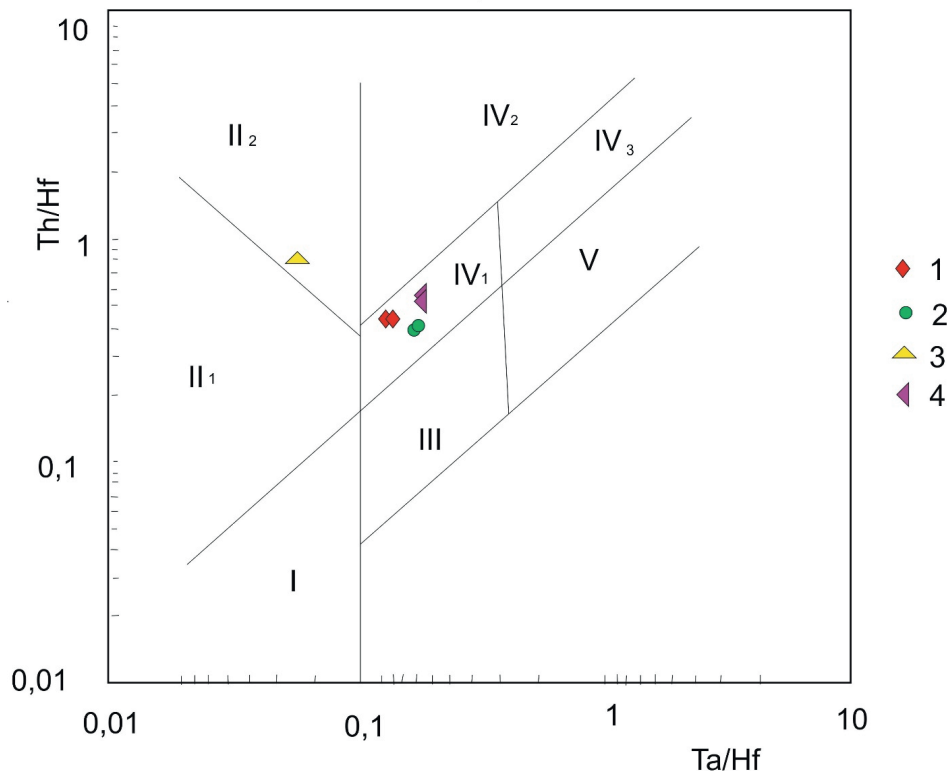


Рис. 8. Диаграмма Th/Hf – Ta/Hf по [Wang et al., 2001] для породных типов Локтевского массива. Поля на диаграмме: I – NMORB; II1 – океанические островные базальты; II2 – базальты островодужных континентальных окраин; III – базальты океанических островов (TMORB и EMORB); IV1 – внутриконтинентальные рифтовые толеиты; IV2 – континентальные обстановки растяжения/рифтовые базальты; IV3 – внутриконтинентальные известково-щелочные базальты; V – мантийные плюмовые базальты. Условные на рис. 6

Fig. 8. Plot of Th/Hf – Ta/Hf after [Wang et al., 2001] for rock types of Loktev massif. Fields on plot: I – NMORB; II1 – Oceanic Island basalts; II2 – Continental marginal island arc basalts; III – Oceanic Island basalts, TMORB and EMORB; IV1 – Intra-continental rift tholeiites; IV2 – Continental extensional/rift basalts; IV3 – Intra-continental calc-alkaline basalts; V – Mantle plume basalts. Legend on fig 6

Подтверждением рифтогенно-плюмовой обстановки пород волчихинского комплекса, в том числе и Локтевского массива с одноименным проявлением, является их приуроченность к глубинным разломам, линейная вытянутость к единому субширотному направлению.

Изотопный состав Sm и Nd для габброидов Локтевского проявления составляет $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1931$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.513005$; $\epsilon_{\text{Nd}}(T_{320}) = +7.1$, что отвечает близости к рифтогенным толеитовым базальтам. По соотношениям $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ – $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ габбро-порфириды Локтевского проявления располагаются выше

состава хондритовых метеоритов по самарию и ниже – по неодиму вдали от поля синорогенных гранитоидов (рис. 9). Это указывает, что габброиды Локтевского проявления формировались значительно позднее орогенных гранитоидов, то есть в постколлизийную стадию – плюм-рифтогенного этапа эволюции региона.

Выводы

1. Новые данные, полученные при детальном изучении ранних разностей Локтевского проявления, позволяют считать их порфиритами, так как они относятся к основной и средней группе пород по кислотности.

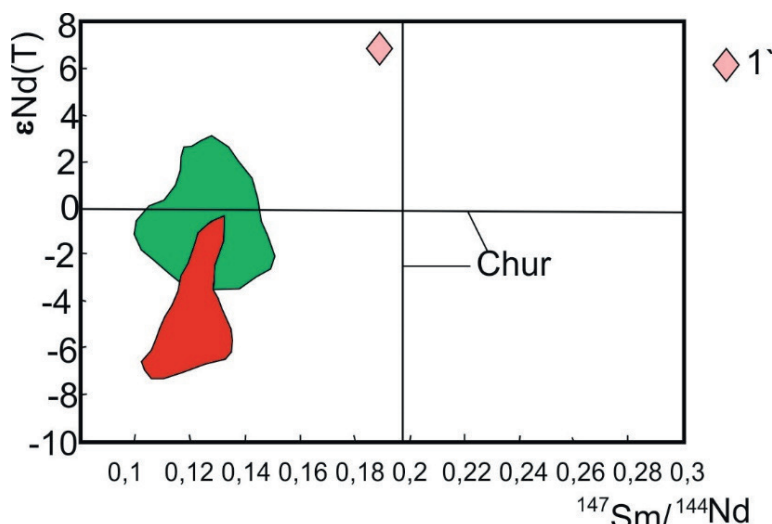


Рис. 9. Диаграмма $\epsilon Nd(T) - {}^{147}Sm/{}^{144}Nd$ для габбро-порфиров Локтевского проявления. Линии CHUR – составы хондритовых метеоритов; зелёное поле – синорогенные гранитоиды и красное поле – ранне-среднепалеозойские метасадочные породы по [Zhao et al., 1993; Chen, Jahn, 2001]. 1 – габбро-порфириды

Fig. 9. Plot $\epsilon Nd(T) - {}^{147}Sm/{}^{144}Nd$ for gabbro-porphyrite of Loktev manifestation. Lines CHUR – contents of chondrite meteorites; green field – sinorogenic granitoids and red field – Early-Middle Paleozoic meta-sediment rocks after [Zhao et al., 1993; Chen, Jahn, 2001]. 1- gabbro-porphyrite

2. Их абсолютный возраст определён в 320 млн. лет, что позволяет относить породные типы Локтевского массива к более древним образованиям, чем считалось ранее.

3 Генерация их происходила в глубинных условиях из расплавов мантийных источников в плюм-рифтогенной обстановке. В них имеются мафитовые включения базальтов мантийной природы. На путях движения мантийных расплавов происходило смешение с коровым материалом и появлением более кислых

разностей: тоналитовых порфиров и гранитов.

4. По физико-механическим и теплофизическим свойствам Локтевские «порфириды» обладают более привлекательными свойствами и могут найти применение для изготовления высокохудожественных декоративных изделий.

5. Значительные прогнозные ресурсы «порфиров», благоприятные горно-технические условия Локтевского карьера позволяют рекомендовать их для отработки Колыванскому заводу.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

- Гусев А.И. Геммология Алтая и Салаира. Бийск: АГГПУ, 2020. 318 с.
- Гусев А.И., Гусев Н.И., Васильченко Т.А. Магматизм и оруденение Рудного Алтая. Бийск: ФГБОУ ВПО АГАО, 2011. 270 с.
- Гусев А.И., Одинцев А.В. Геолого-экономический потенциал минерально-сырьевой базы Горного Алтая. Gamburgh: Palmarium Academic Publishing, 2012. 440 с.

Гусев А.И. Петрология и рудоносность гранит-лейкогранитового Устьянского массива Рудного Алтая // Известия АО РГО. 2021. №2 (61). С. 51–61.

Гусев А.И., Гусев Н.И. Новые данные по абсолютным возрастам некоторых магматических пород Горного Алтая // Известия АО РГО. 2023. № 1 (68). С. 16–30.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.

Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Борисов С.М. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. 187 с.

Chen B., Jahn B.M. Geochemical and isotopic study of sedimentary and granitic rocks from the Altai orogeny (NW China) and tectonic implications // Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. Novosibirsk., Publishing House of SB RAS. Department “GEO”, 2001. P. 14–17.

Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. Vol. 79 (3–4). P. 491–504.

Mc Donough W.F., Sun S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Wang Y.L., Zhag C.J., Xiu S.Z. Discrimination of Th/Hf-Ta/Hf for tectonic settings in Basalts // Acta Petrologica Sinica. 2001. Vol. 17. No. 3. P. 413–421.

Zhao Z.H., Wang Z.G., Zou T.R., Masuda A. Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang. Beijing; Science Press, 1993. P. 239–266.

Referencies

Gusev A.I. Gemmology of Altay and Salair [Altai and Salair gemology]. Biysk: AGPPU, 2020. 318 p. (in Russian).

Gusev A.I., Gusev N.I., Vasilchenko T.A. Magmatizm i orudnenie Rudnogo Altaya [Magmatism and mineralization of the Ore Altai Mountains]. Biysk: FGBOU VPO AGAO, 2011. 270 p. (in Russian).

Gusev A.I., Odintsev A.V. Geologo-ekonomicheskii potentsial mineral'no-syr'evoy bazy Gornogo Altaya [Geological and economic potential of the mineral resource base of the Altai Mountains]. Gamburgh: Palmarium Academic Publishing, 2012. 440 p. (in Russian).

Gusev A.I. Petrologiya i rudonosnost' granit-leykograditovogo Ustyanskogo massiva Rudnogo Altaya [Petrology and ore occurrence of the granite-leucogranite Ustyansky massif of the Ore Altai Mountains] // Izvestiya AO RGO [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2021. No 2 (61). P. 51–61 (in Russian).

Gusev A.I., Gusev N.I. Novye dannye po absolutnym vozrastam nekotorykh magmaticheskikh porod Gornogo Altaya [New data on absolute ages of some igneous rocks of the Altai Mountains] // Izvestiya AO RGO [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2023. No 1 (68). P. 16–30 (in Russian).

Petrograficheskiy kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations]. SPb: Izdatel'stvo VSEGEI, 2009. 200 p. (in Russian).

Shokal'skiy S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G., Borisov S.M. Korrelyatsiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov zapadnoj chasti Altae-Sayanskoj skladchatoj oblasti [Correlation of magmatic and metamorphic complexes of the western part of the Altai-Sayan folded region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial «Geo», 2000. 187 p. (in Russian).

Chen B., Jahn B.M. Geochemical and isotopic study of sedimentary and granitic rocks from the Altai orogeny (NW China) and tectonic implications // Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. Novosibirsk., Publishing House of SB RAS. Department "GEO", 2001. P. 14–17.

Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. Vol. 79 (3–4). P. 491–504.

Mc Donough W.F., Sun S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Wang Y.L., Zhag C.J., Xiu S.Z. Discrimination of Th/Hf-Ta/Hf for tectonic settings in Basalts // Acta Petrologica Sinica. 2001. Vol. 17. No. 3. P. 413–421.

Zhao Z.H., Wang Z.G., Zou T.R., Masuda A. Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang. Beijing; Science Press, 1993. P. 239–266.

SOME GEOLOGY-GEOCHEMICAL ASPECT OF «PORPHYRES» LOKTEV MANIFESTATION OF RUDNYY ALTAY

A.I. Gusev, V.V. Dudina, T.A. Zatsepin

Altai State Pedagogical University, Biisk,

E-mail: anzerg@mail.ru

The new data about geology-geochemical peculiarities of «porphyres» Loktev manifestation with accent on conditions forming, absolute age and application lead in paper. Loktev manifestation of «porphyres» time to of some name massif that it carries to Volchiha complex. Massif composed by 3 phasies of intrusive: 1 – gabbroids, 2 – quartz diorites and plagiogranites (tonalities), 3 – granites and leucogranites. «Porphyres» of Loktev manifestation presented by black and greenish differences of gabbroids and quartz diorites and in coonection with modern demands must name porphyrites. U-Pb age determined on zircon and composed 320 mln years, that it replays Early Carboniferous. Middle-basic differences of rocks massif formed from deep mantle melts with participation of plum sources. The acid differences generated by mantle-crust interaction with contamination of crust material. With deep melting spot, forming rock types of massifs connected big complex endogenetic ore mineralization, carrying to strategic raw material. Extension ores of «porphyres» category P₂ evaluated 1.54 mln tons. They can be utilizing so ornamental stone and so for covering of baths and sweeting-rooms.

Key words: gabbroids; quartz diorites; tonalities; absolute age; plum sources; decorative ornamental raw material.

Received November 7, 2024. Accepted: December 16, 2024

Сведения об авторах

Гусев Анатолий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, профессор Алтайского государственного педагогического университета. Бийский филиал им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5. ORCID: 0000-0001-7840-0272. E-mail: anzerg@mail.ru.

Дудина Валерия Вячеславовна – научный работник Лаборатории петрологии и металлогении золота Алтайского государственного педагогического университета. Бийский филиал им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5.

Зацепин Тимофей Алексеевич – научный работник Лаборатории петрологии и металлогении золота Алтайского государственного педагогического университета. Бийский филиал им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5.

Information about the authors

Gusev Anatolij Ivanovich – Doctor geology-mineralogical sciences, professor of Altai State Pedagogical University. Biysk branch named after V.M. Shukshin. 5, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia. ORCID: 0000-0001-7840-0272. E-mail: anzerg@mail.ru.

Dudina Valeriya Vyacheslavovna – science worker of Laboratory petrology and metallogeny of gold of Altai State Pedagogical University. Biysk branch named after V.M. Shukshin. 11, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia.

Zatsepin Timofey Alekseevich – science worker of Laboratory petrology and metallogeny of gold of Altai State Pedagogical University. Biysk branch named after V.M. Shukshin. 11, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia.

Раздел 2

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Section 2

GEOECOLOGY

УДК 631.4

**РТУТЬ В ПОЧВАХ РЕКРЕАЦИОННЫХ РАЙОНОВ
БАССЕЙНА НИЖНЕЙ КАТУНИ**

И.А. Трошкова, О.А. Ельчи니нова, А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина,
Т.А. Рождественская

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: egorka_iren@mail.ru

Содержание Hg в большинстве почв районов с высокой рекреационной нагрузкой в бассейне Катунь превышает как региональный, так и глобальный фон, что связано с влиянием природных источников ртути – месторождений, рудопроявлений, ореолов рассеяния ртутных областей Алтае-Саянской горной страны. Однако, оно существенно ниже ПДК, и загрязнение ртутью воды, а также негативное влияние на биоту и высшие звенья экологической цепи маловероятны. Исходная неоднородность почвообразующих субстратов по гранулометрическому и минералогическому составу обусловила неравномерность распределения ртути в почвенном профиле и невозможность вычленения влияния почвообразовательных макропроцессов на внутриверхнее распределение элемента.

Ключевые слова: почвы; ртуть; концентрация; загрязнение; Катунь.

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17602

Дата поступления: 20.12.2024. Принята к печати: 20.02.2024

Уникальные геохимические свойства ртути обуславливают особенности ее концентрирования и перераспределения в различных компонентах окружающей среды, разнообразие форм миграции и специфику их трансформации в природных и техногенных условиях. Элемент способен накапливаться в пищевых цепях и оказывать широкий и разносторонний спектр негативных воздействий на человека и другие живые организмы, популяции и экосистемы в целом.

Ртуть является одним из наиболее опасных элементов-загрязнителей биосферы с самым высоким показателем токсичности среди тяжелых металлов.

Согласно ГОСТу 17.4.1.02-83 [1983], Hg относится к сильноопасным веществам. Ртуть не входит в группу жизненно необходимых элементов, а ее роль в физиологических процессах остается неясной [Ефимова и др., 2005; Янин, 2005; Барановская и др., 2022].

Различные формы ртути обладают собственными токсическими свойствами и требуют индивидуальной оценки их токсичности. При отравлениях парами ртути в первую очередь наблюдаются изменения нервной системы. Водорастворимые соединения элемента оказывают раздражающее действие на кожу, при попадании внутрь организма вызыва-

ют отравления. Токсичность ртути связана с агглютинацией (склеиванием, слипанием) эритроцитов, ингибированием ферментов. Хроническая интоксикация ртутью может нарушить минерализацию костей и уменьшить их прочность, что связано с близостью ионных радиусов ртути и кальция [Глинка, 1985]. Воздействие ртути на человеческий организм вызывает неврологические, нефрологические, сердечные и репродуктивные расстройства, а также генетические мутации [Осипова и др., 2013]. Ртуть относится к канцерогенным веществам. Наиболее распространенными соединениями ртути в природе являются неорганические соединения Hg (II), а наибольшую токсичность и опасность для живых организмов представляют органические производные ртути, а именно метилртуть [Метилртуть ..., 1993]. Метилртуть официально признана тератогенным ядом, способным проникать сквозь плацентарный барьер и приводить к порокам развития у потомства. У растений при отравлении ртутью возникают задержка появления всходов, роста и развития корней, торможение фотосинтеза, снижение урожайности. Существует мнение, что постоянное действие концентраций ртути ниже ПДК тоже может представлять угрозу для здоровья [Глазовская, 1988; Иванов, 1997].

Главными природными источниками поступления элемента в окружающую среду являются естественная дегазация ртутьсодержащих минеральных пород и вулканическая деятельность [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Роева, 1996; Моисеенко и др., 2006]. Основная масса

Hg находится в соединениях, образуя самостоятельные ртутные минералы, такие как самородная ртуть, киноварь и др. Кроме того, элемент входит в состав других минералов в качестве изоморфных или механических примесей.

Основные антропогенные источники ртути – горнодобывающая промышленность, цветная металлургия, сжигание топлива и химическая промышленность [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Роева и др., 1996; Ильин, 2004; Моисеенко и др., 2006]. Из этих источников Hg попадает в окружающую среду преимущественно с атмосферными осадками. Токсичные соединения элемента включаются в биогеохимические круговороты, поступают через почву, гидросферу и атмосферу в растения, корма, продукты питания, в организмы животных и человека. Важная роль в миграции Hg в окружающей среде, особенно в почвах и водоемах, принадлежит микроорганизмам, которые переводят ее из неорганической формы в органическую, в том числе в метилртуть [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Иванов, 1997; Кузубова и др. 2000]. Именно поэтому сейчас особое внимание уделяется изучению закономерностей поведения ртути и ее соединений в окружающей среде.

Река Катунь – главная водная артерия Горного Алтая, одна из самых живописных и значимых рек, привлекающая внимание туристов (рис. 1). Большинство туристических комплексов расположено на территории Чемальского района. Ранее на исследуемой территории планировалось строительство Катунской ГЭС.



Рис.1. Схема расположения разрезов в рекреационном районе
Fig. 1. The layout of the sections in the recreational area

Массовый поток отдыхающих приводит к ускоренной деградации уязвимых природных комплексов Горного Алтая, особенно в пределах водоохранных зон доступных для рекреантов рек. Наиболее неблагоприятная экологическая обстановка складывается в интенсивно используемой для массового неорганизованного отдыха в водоохранной зоне р. Катунь [Павлова, 2013]. Негативное воздействие массовой рекреации в горно-долинных лесных ландшафтах проявлено, главным образом, в форме деградации почвенно-растительного покрова. Ведущую причину этих процессов представляет собой вытаптывание, вызывающее уплотнение почвы, исчезновение лесной

подстилки, изменение видового состава растений, физических свойств. Заметное воздействие на ландшафты оказывает также автотранспорт рекреантов [Савенко, Робертус, 2021].

Наряду с механическими и физическими свойствами почв на рекреационных участках изменяется и их химический состав. В поверхностном слое почв рекреационных участков отмечается некоторое накопление меди, свинца и цинка. Величина отклонения средних концентраций от фоновых значений составляет 6–22%. При рекреационном воздействии в поверхностном слое почв отмечается также повышенное на 8–50% относительно фона содержание

алюминия, кальция, магния, натрия и железа, накопление которых происходит за счет уничтожения гумусового горизонта и «поднятия» вверх по профилю почвообразующих пород [Павлова, 2013].

Таким образом, комплекс природных и антропогенных факторов предопределил необходимость исследования накопления и распределения ртути в почвах.

Цель исследований – определение содержания ртути в почвенном покрове рекреационных районов бассейна Катунь и изучение особенностей биогеохимического поведения элемента в разнотипных почвах. Задачи исследования: выяснить уровень концентрации Hg в почвообразующих породах и почвах, выявить ведущие факторы, определяющие биогеохимическое поведение металла, дать санитарно-гигиеническую оценку сложившейся на изучаемой территории ситуации.

Материалы и методы

Многообразие факторов почвообразования, проявление высотной поясности (среднегорный и низкогорный пояса) в пределах исследуемого района предопределило целую гамму почвенных типов (табл. 1). Наибольшее распространение имеют черноземы южные и обыкновенные, наименьшее – каштановые и горно-лесные черноземовидные почвы.

Черноземы обыкновенные приурочены к право- и левобережным террасам Катунь различного уровня, к склонам и шлейфам разных экспозиций. Сведение естественной растительности при нерациональном землепользовании привело к эрозионным

и дефляционным процессам, которые обусловили потерю тонкодисперсных, наиболее ценных в биоэкологическом аспектах фракций мелкозема почв. Почвообразующими породами являются делювиальные, аллювиально-делювиальные, аллювиальные отложения щебнисто-песчаные, щебнисто-супесчаные, галечниково-песчаные и галечниково-супесчаные, а также хорошо сортированные песчаные отложения аллювиального генезиса. Для качественного состава гумуса свойственно преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами. Почвенный поглощающий комплекс насыщен кальцием и магнием. Реакция среды в верхних горизонтах нейтральная, в нижних – слабощелочная. Среди черноземов обыкновенных преобладают разновидности легкого гранулометрического состава: песчаные, супесчаные, легкосуглинистые.

Черноземы южные приурочены к террасам право- и левобережной Катунь, к конусам выноса ее притоков, к шлейфам южных и юго-западных экспозиций. Южные черноземы формируются на аллювиальных сортированных песках, песчано(супесчано)-галечниковых отложениях, песчано(супесчано)-щебнистых отложениях делювиального генезиса. Черноземы южные имеют легкосуглинистый, супесчаный или песчаный гранулометрический состав. В зависимости от гранулометрического состава содержание гумуса может варьировать от 3 до 5%. Гумус имеет отчетливую гуматную природу. Реакция среды – щелочная.

Таблица 1

Физико-химические свойства почв долины Катунь

Table 1

Physico-chemical properties of soils of the Katun Valley

Генетический горизонт	Глубина образца, см	Гумус	CaCO ₃	pH водный	ЕКО	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		%			мг-экв на 100 г почвы		
Горно-лесная черноземовидная, супесчаная, среднетяжелая на щебнисто-песчаном эдьювии-делювии. Левобережье долины р. Эдиган. Разрез 2 МК							
A _{дер}	1–11	16.2	0.8	6.7	79.9	31.2	7.2
A	15–15	13.6	1.1	7.2	77.3	14.4	25.6
A	35–45	6.0	0.8	7.4	53.8	10.0	10.8
AB	45–55	4.9	2.5	7.7	27.7	–	–
B	56–66	1.2	33.6	8.0	14.3	–	–
B	70–80	1.0	3.1	8.7	15.1	–	–
C _к	90–100	0.5	23.1	8.1	10.9	–	–
Чернозем обыкновенный, супесчаный. Разрез 41							
A	0–10	5.2	3.6	8.3	30.0	20.3	1.8
B _к	20–30	0.8	27.6	8.5	11.6	8.5	2.4
BC _к	35–45	0.8	29.2	8.7	11.6	9.3	1.3
C _к	70–80	0.4	17.8	9.2	6.0	3.0	0.8
Чернозем южный, песчаный, маломощный на аллювиальном сортированном песке. На 60 м ниже по склону от разреза 6. Разрез 7 МК							
A	0–9	4.1	11.2	8.1	14.3	2.4	4.8
AB _к	9–18	2.1	15.8	8.1	9.2	5.6	0
B	20–30	1.4	18.4	8.3	9.2	–	–
B	37–47	0.9	16.9	8.6	7.6	–	–
BC _к	65–75	0.4	7.2	8.8	4.2	–	–
C _к	110–120	0.2	13.5	8.7	2.5	–	–
Темно-каштановая, супесчаная. Разрез 31							
A	0–10	4.3	8.2	8.1	29.9	19.8	0.5
B _к	15–25	4.3	10.0	8.2	28.2	23.7	2.2
C _к	50–60	1.6	13.2	8.3	13.3	2.6	0.5
Чернозем обыкновенный супесчаный маломощный на аллювиально-делювиальных песчано-галечниково-щебнистых отложениях. Разрез 53К							
A _{пах} ^к	0–10	5.4	2.3	7.8	36.3	18.9	8.6
A _к	10–20	5.2	2.7	7.9	27.6	19.2	1.5
B _к	26–36	2.1	22.0	8.0	6.9	–	–
BC _к	40–50	0.9	11.4	8.2	7.8	–	–
C _к	70–80	0.8	13.9	8.2	8.9	–	–

Примечание: – не определяли, ЕКО – емкость катионного обмена

Каштановые почвы занимают террасы аллювиальных окарбоначенных отложений Катунь и ее притоков, формируются в эдьювии. Содержание гумуса гуматно-фульватного состава в гумусово-песчано- и супесчано-галечниковых отложениях.

аккумулятивном горизонте варьирует в пределах 2.5–4.5%. Реакция среды слабощелочная в верхних горизонтах, щелочная и сильнощелочная – в нижних. Каштановые почвы долины Катунь характеризуются высоким содержанием карбонатов кальция и магния и незначительной емкостью поглощения.

Горно-лесные черноземовидные почвы занимают склоны разной крутизны преимущественно западной, северо-западной и северной экспозиций по долинам притоков Катунь. В качестве почвообразующих пород здесь выступают элювиальные, элювио-делювиальные, делювиальные, аллювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста разнообразного петрографического и минералогического состава. Почвы характеризуются легким гранулометрическим составом, присутствием большого количества щебня и гальки, значительным накоплением органического вещества в гумусово-аккумулятивном горизонте (до 9–16%). Характерной чертой геохимического профиля почв является наличие хорошо выраженного карбонатного горизонта с содержанием карбонатов кальция и магния до 23.1%.

В основу полевых исследований положен сравнительно-географический метод. Отбор образцов почв и подготовка проб для анализа проводились в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [1984]. Определение свойств почв выполнено общепринятыми в почвоведении методами [Аринушкина, 1970; Агрохимические..., 1975]. Содержание ртути в почвах определено в

лаборатории изотопно-геохимических методов анализа Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН) методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Нижний предел обнаружения Hg составляет 0.005 мг/кг.

Результаты и обсуждение

Ртуть в горных и почвообразующих породах. Горные породы являются главным источником поступления ртути в почвообразующие субстраты. Кларк ртути в земной коре составляет 0.083 мг/кг, содержание в основных породах – 0.09, кислых – 0.08 мг/кг [Виноградов, 1962]. В экогеохимии в качестве кларка Hg в верхней части континентальной земной коры – резервуара природных ресурсов, используемых человечеством, и главного источника большинства химических элементов, вовлеченных в техногенез, Н.С. Касимов и Д.В. Власов [2015] считают целесообразным использовать оценку Н.А. Григорьева – 0.065 мг/кг [2009].

По данным [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989], концентрация Hg в магматических породах – 0.0n мг/кг. Количество элемента в осадочных породах значительно варьирует [Браунлоу, 1984; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]: в песчаниках – 0.079–0.10 мг/кг, сланцах – 0.045–0.40; в глинистых осадках – 0.20–0.40; карбонатных породах – 0.022–0.05 мг/кг. В почвообразующих породах европейской части России содержание ртути находится в пределах 0.015–0.077 мг/кг [Минеев, 1983].

Среднее валовое содержание ртути в лессовидных средних суглинках Приобс-

кого плато составляет 0.013 ± 0.002 мг/кг, в лессовидных суглинках Западной Сибири – 0.015 мг/кг [Ильин др., 2003], в суглинистых почвообразующих породах юга этого региона – 0.012 (при колебаниях от 0.005 до 0.018 мг/кг) [Ильин др., 2000]. Почвообразующие породы Тувы [Мальгин, Пузанов, 1993] содержат элемента в среднем 0.099 ± 0.014 мг/кг. Концентрация ртути в горных породах Алтая колеблется в пределах математического порядка (0.005–0.05 мг/кг), составляя в среднем 0.045 мг/кг [Оболенский, 1985; Росляков и др., 1992]. Аллювиальные отложения предгорных равнин Алтая содержат ртути 0.005–0.050 мг/кг, покровные суглинки 0.006–0.037 мг/кг [Мальгин, Пузанов, 1995].

Концентрация элемента в исследуемых почвообразующих породах (табл. 2) в 2 и более раз выше среднего содержания ртути в верхней части континентальной коры [Григорьев, 2009], почвообразующих пород Западной Сибири [Ильин др., 2000; Ильин др., 2003], Алтая в целом [Оболенский, 1985; Росляков и др., 1992] и его предгорий [Мальгин, Пузанов, 1995].

На достаточно большой части Алтае-Саянской горной страны находится ртутная провинция. На территории Республики Алтай природная группа источников ртути представлена рядом месторождений, рудопроявлений, литохимических ореолов и потоков рассеяния в пределах Салаиро-Алтайской ртутно-серебряно-металлической и Алтае-Кузнецкой ртутной-железо-золоторудной минерагенических областей [Мальгин, Пузанов, 1995; Робертус и др., 2018].

Относительно высокие концентрации ртути в исследуемых почвообразующих породах (0.096–0.444 мг/кг) обусловлены влиянием природного фактора загрязнения окружающей среды этим элементом. Широкий диапазон колебаний обусловлен петрографией горных пород и условиями рассеяния ртути.

Зависимость содержания ртути в почвообразующих породах от их гранулометрического состава, на которую указывают многие исследователи [Скрипниченко, Золотарева, 1983; Мальгин, Пузанов, 1993; Ильин, 2000; Ильин др., 2003], наблюдается не всегда, что, вероятно, связано с большим разнообразием исходного петрографического материала по происхождению и содержанию элемента. Так, концентрации ртути даже в отложениях одинакового гранулометрического состава могут различаться в несколько раз. Часто почвообразующие породы в пределах даже одного генетического типа характеризуются различными уровнями концентрации Hg.

Ртуть в почвах. Уровень содержания ртути в почвах определяется, главным образом, ее количеством в почвообразующих субстратах и, в какой-то мере, дегазацией и термальной активностью Земли. Поведение элемента в компонентах биосферы обусловлено спецификой его физико-химических свойств и большим разнообразием химических соединений, которые могут образовываться в природной среде. Содержание ртути в почвах зависит от типа и подтипа почв, их агрофизической и агрохимической характеристики.

Таблица 2

Ртуть в почвах долины Катунь

Table 2

Mercury in the soils of the Katun Valley

Название почвы	Генетический горизонт	Глубина образца, см	Ртуть, мг/кг
Горно-лесная черноземовидная супесчаная среднетощая на аллювиальной сортированной карбонатной супеси. Левобережье Катунь. Профиль за р. Каспа. Верхняя остаточная терраса Катунь северной экспозиции с большим уклоном к Катунь. Разрез 81	A _{дер}	1–6	0.052
	A ₁	10–20	0.032
	A ₂	25–35	0.064
	B	45–55	0.080
	C _к	70–80	0.096
Горно-лесная черноземовидная супесчаная среднетощая на песчаном сортированном аллювии. Левобережная высокая терраса р. Чеба, склон Северо-Западной экспозиции. Разрез 103	A _{дер}	0–5	0.168
	A	5–15	0.088
	A	20–30	0.088
	AB	30–40	0.208
	B _к	48–56	0.224
	B _к	60–70	0.192
	BC _к	80–90	0.203
Чернозем обыкновенный супесчаный маломощный на аллювиально-делювиальных песчано-галечниково-щебнистых отложениях. Вторая правобережная терраса Катунь в 800 м выше места предполагаемой плотины Катунской ГЭС. Разрез 53.	C _к	110–120	0.224
	A ^к _{пах}	0–10	0.192
	A _к	10–20	0.256
	B _к	26–36	0.180
	BC _к	40–50	0.256
Чернозем обыкновенный супесчаный на аллювиально-делювиальных отложениях. Древняя терраса. Хорошо оформленный конус выноса у подножия скал. Разрез 57	C _к	70–80	0.288
	A _{дер}	0–10	0.160
	AB	16–26	0.272
	B _к	30–40	0.320
	B	50–60	0.368
Чернозем южный, песчаный маломощный на отложениях сортированного песка. Эдигано-Ороктойский профиль, верхняя левобережная терраса р. Эдиган. Разрез 27	CD _к	80–90	0.272
	A _{пах}	0–8	0.408
	A	10–20	0.384
	B _к	26–35	0.396
	BC _к	50–60	0.444
	C	70–80	0.432
Чернозем южный, маломощный супесчаный на песчаных аллювиальных отложениях. 4-я правобережная терраса Катунь, в 0.5 км ниже с. Куюс. Разрез 21	C	130–140	0.240
	A _{пах}	0–8	0.152
	A	10–20	0.176
Каштановая среднетощая супесчаная на аллювиальных отложениях. Правобережная терраса Катунь. Разрез 124	CD	40–50	0.240
	A	0–10	0.164
	B _к	20–30	0.152
Каштановая песчаная маломощная на песчаном аллювии. Эродированная верхняя терраса Катунь. Склон средней крутизны южной экспозиции. Разрез 125	BC	50–60	0.144
	A	0–10	0.144
	B _к	10–19	0.240
	C _к	25–35	0.312
	CD _к	60–70	0.408

Концентрация ртути в почве связана с уровнем содержаний органического вещества, железа и серы [Метилртуть, 1993; Гладышев, 2021; Ignatavičius et. al., 2022]. Hg аккумулируется органическим веществом, глинистыми частицами, может поглощаться растительностью, а также выделяться в виде паров и в составе пыли в атмосферу, мигрировать вниз по почвенному профилю и поступать в грунтовые воды [Геохимия..., 1970; Иматали, 2015; Qu R. et. al., 2019; Ляпина, 2021].

Hg является довольно подвижным элементом, что обуславливает неоднородность ее распределения в почвах [Наумов и др., 2006]. По мнению других авторов [Метилртуть, 1993], она относительно малоподвижна при выветривании, так как образует слабоподвижные органические комплексы и другие соединения. В то же время многие соединения ртути летучи и растворимы, что определяет ее наличие в самых различных лито- и биосубстратах. Ионы Hg^{2+} и Hg^{1+} могут присутствовать в минералах как часть их кристаллической решетки; они бывают адсорбированы на поверхности глинистых частиц, связаны с органическими компонентами почвы. При низких значениях pH большая часть ртути сорбирована органическим веществом, а по мере увеличения pH возрастает количество ртути, связанной с почвенными минералами [Наумов и др., 2006; Ганзей и др., 2021]. По данным [Метилртуть, 1993], сорбция ртути глинистыми почвами ограничена и не зависит от pH.

Важнейшую роль в биогеохимическом цикле ртути играют слаборастворимые органические соединения, метилированная форма элемента, которой придается

решающее значение в ртутной экологии.

Содержание ртути в почвенном покрове различных регионов подвержено существенным колебаниям (табл. 3). В качестве фоновой концентрации ртути в почвах принята величина 0.1 мг/кг [Гигиенические..., 1979].

Результаты исследований (табл. 2) свидетельствуют о достаточно широком диапазоне колебаний содержания ртути (практически в пределах математического порядка) как в гумусовом горизонте почв, так и в профиле в целом: от 0.032 до 0.408 мг/кг и от 0.064 до 0.444 мг/кг соответственно. Содержание Hg в большинстве исследованных почв превышает как региональный, так и глобальный фон (табл. 2, 3), что связано с влиянием природных источников ртути.

На повышенные содержания ртути в почвах районов месторождений, ртутных, золото-ртутных, полиметаллических, в рудах которых часто как примесь встречается ртуть, указывают К.К. Иматали [Иматали, 2015] в Кыргызстане, Н.А. Росляков и др. [1992], А.И. Гусев [2012], М.А. Густайтис и И.Н. Мягкая [2022] – на Алтае, В.А. Степанов [2023] – на Камчатке, Е.А. Наумов и др. [2006] – в Монголии и Хакасии.

Заметных межтиповых различий в содержании Hg не обнаружено (табл. 2). Даже почвы одного типа могут существенно различаться по содержанию ртути (разрезы 81 и 103). Исходная неоднородность по гранулометрии и минералогии почвообразующих субстратов исследуемого района предопределяет неравномерность распределения ртути в почвенном профиле и затрудняет вычленение влияния почвообразовательных макропроцессов на внутрипрофильное распределение элемента.

Таблица 3

Содержание ртути в почвах разных регионов, мг/кг

Table 3

Mercury content in soils of different regions, mg/kg

Почвы, район	Пределы	Среднее
Почвы мира	–	–
[Геохимия..., 1970]	–	0.01
[Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]	0.004–0.99	0.0n
Поверхностный слой [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]	0.01–1.5	≤0.4
Почвы европейской части бывшего СССР, Австрии, Швеции и Канады [Минеев и др., 1983]	0.02–0.5	0
Почвы островов Русский и Шкота (Приморский край) [Ганзей и др., 2021]	0.0359–0.1586	0.0812
Почвы Сихотэ-Алиня (Приморский край) [Барановская и др., 2022]	0.013–0.298	–
Черноземы Приобья, гор А ₁ (А _{пах}) [Ильин и др., 2003]	–	0.024±0.005
Черноземы Кулунды гор А ₁ (А _{пах}) [Ильин др., 2003]	–	0.021±0.005
Почвы юга Западной Сибири [Ильин, 2004]	0.02–0.03	–
Почвы Сибири [Аношин и др., 1995]	0.005–1.275	–
Почвы Южной Сибири	–	–
Черноземы обыкновенные речных долин и межгорных котловин Горного Алтая [Пузанов и др., 2006], гор. А	0.048–0.272	0.100±0.007
гор. В	0.024–0.368	0.119±0.019
гор. С	0.021–0.312	0.112±0.019
Лесостепная зона Алтайского края [Толкушкина и др., 2005]	–	0.04–0.05
Почвы Алтайского края [Ляпина, 2021]	0.002–0.022	0.008
[Перегудина и др., 2023]	0.004–0.011	–
Почвы Кулундинской степи [Пузанов и др., 2000]	0.02–0.16	0.045±0.003
Бассейн Верхней Оби [Пузанов и др., 2017]	–	–
фоновые районы	–	0.093
районы месторождений	0.06–36	–
Почвы Горного Алтая [Ельчиногова, 2009]	–	0.12±0.01

Примечание: «–» – нет данных

Строгой зависимости содержания ртути в почвах от количества элемента в почвообразующей породе нет. В одних разрезах концентрация элемента в верхних горизонтах и в почвообразующих породах практически идентичны, в других – различаются более чем в 3 раза (табл. 2).

Не выявлено и явного накопления ртути в гумусово-аккумулятивных горизонтах, на которое указывают многочисленные литературные источники [Геохимия..., 1970; Метилртуть, 1993; Иматали, 2015; Qu R. et.al., 2019; Гладышев, 2021; Ляпина, 2021; Ignatavičius G. et. al., 2022], несмотря на довольно высокое содержание гумуса.

Возможно, это свойственно только почвам с содержанием ртути в пределах кларка.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути в почвах населенных мест и сельскохозяйственных угодий, к категории которых возможно отнесение и почв районов с туристско-рекреационной нагрузкой – 2.1 мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21] (лимитирующий показатель вредности – транслокационный, характеризующий способность химического вещества переходить из почвы в сельскохозяйственные растения и накапливаться в них). Норматив содержания ртути в песке песочниц детских организаций – также не более

2.1 мг/ кг [СанПиН 1.2.3685-21].

Миграционный водный показатель вредности характеризует способность перехода вещества из почвы в грунтовые и поверхностные воды, миграционный воздушный – из почвы в атмосферный воздух. Общесанитарный показатель вредности характеризует влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность [Бессонов, Янин, 2005]. Миграционный водный лимитирующий показатели вредности Hg в почвах – 33.3 мг/кг, миграционный воздушный – 2.5 мг/кг, общесанитарный – 5.0 мг/кг [МУ 2.1.7.730-99]. Сравнение обнаруженного в исследованных почвах количества ртути с ПДК и лимитирующими показателями вредности показало, что отрицательное воздействие почв на воздух, воды, растения, здоровье человека

и самоочищающую способность почв рекреационных районов бассейна Катунь практически исключается.

Заключение

Неоднородность литохимического фона, сложность и контрастность природных условий, многообразие почвообразовательных процессов и почв в системе вертикальной поясности предопределили существенное разнообразие в содержании ртути в почвах и почвенном покрове районов с высокой рекреационной нагрузкой в бассейне Катунь. Полученные данные свидетельствуют о том, что сложившаяся ситуация с ртутью неоднозначна. Уровень концентрации элемента в почвах выше фоновый, однако, он существенно ниже ПДК, и загрязнение ртутью воды, а также негативное влияние на биоту и высшие звенья экологической цепи маловероятны.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (по проекту FUFZ-2021-0003 «Оценка эколого-биогеохимической обстановки в речных бассейнах Сибири в условиях изменения климата и антропогенного воздействия»).

Список литературы

- Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
- Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Ковалев С.И., Маликов Ю.И. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. 1995. Т. 3, № 1–2. С. 69–111.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
- Барановская Н.В., Иванов В.В., Осипова Н.А., Паничев А.М., Чекрызов И.Ю., Доронина В.Д., Хвощевская А.А. Ртуть в почвах и растительности на заповедных территориях Приморского края // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 11. С. 90–100.

Бессонов В.В., Янин Е.П. Способы оценки и ремедиации загрязненных ртутью городских почв // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. Сборник научных трудов. М.: ИМГРЭ, 2005, С. 160–180.

Браунлоу А.Х. Геохимия. М.: Недра, 1984. 436 с.

Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. №7. С. 555–571.

Ганзей К.С., Пшеничникова Н.Ф., Киселёва А.Г., Юрченко С.Г., Родникова И.М. Содержание ртути в почвенно-растительном покрове островов Русский и Шкота (залив Петра Великого, Приморский край) // Геохимия. 2021. Том 66, № 5. С. 473–480.

Геохимия окружающей среды / Под ред. Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Недра, 1970. 335 с.

Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Ч. 1. Ртуть. Женева: ВОЗ. 1979. 148 с.

Гладышев В.Б. Токсичные свойства ртути и ее влияние на организм животных и человека // The Scientific Heritage. 2021. № 81–2 (81). С. 16–22.

Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 327 с.

Глинка Н.Л. Общая химия. Л.: Химия, 1985. 702 с.

ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Госстандарт, 1983. 5 с.

ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Госстандарт, 1984. 8 с.

Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН. 2009. 382 с.

Гусев А.И. Типизация золото-ртутного оруденения Горного Алтая // Успехи современного естествознания. 2012. №12. С. 87–91.

Густайтис М.А., Мягкая И.Н. Особенности распределения ртути в волосах жителей поселка Акташ (Республика Алтай) // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5, № 1. e165. doi: 10.31251/pos.v5i1.165

Ельчианинова О.А. Биогеохимические аспекты экологической оценки наземных экосистем Алтая: монография. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. 141 с.

Ефимова Н.В., Коваль П.В., Рукавишников В.С., Безгодов И.В. Проблемы, связанные с загрязнением ртутью объектов окружающей среды // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2005. № 1 (39). С. 127–133.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник. Книга 5. Редкие d-элементы. М.: Экология. 1997. 576 с.

Ильин В.Б. Природный статус тяжелых металлов в почвенном покрове на юге

- Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2004. № 1. С. 13–20.
- Ильин В.Б., Сысо А.И., Байдина Н.Л., Конарбаева Г.А., Черевко А.С. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2003. № 5. С. 550–556.
- Ильин В.Б., Сысо А.И., Конарбаева Г.А., Байдина Н.Л., Черевко А.С. Содержание тяжелых металлов в почвообразующих породах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1086–1090.
- Иматали К.К. Биогеохимическая оценка почвенно-растительного покрова ртутной техногенной провинции Айдаркен (Хайдаркен) // Наука и новые технологии. 2015. № 1. С. 97–101.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 440 с.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
- Кузубова Л.И., Шуваева О.В., Аношин Г.Н. Метилртуть в окружающей среде (распространение, образование в природе, методы определения). Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. Ин-т неорг. химии. Аналит. центр Объедин. ин-та геологии, географии и минералогии СО РАН. Новосибирск. 2000. 82 с.
- Ляпина Е.Е. Распределение форм нахождения ртути в профиле типичных почв Южной Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 2, № 2. С. 130–136. doi: 10.33764/2618-981X-2021-2-2-130-136.
- Мальгин М.А., Пузанов А.В. Ртуть в почвах Тувы // Охрана окружающей среды и человек. Кызыл. 1993. С. 45–47.
- Мальгин М.А. Пузанов А.В. Ртуть в почвах, почвенном и приземном воздухе Алтае-Саянской горной области // Химия в интересах устойчивого развития. 1995. Т. 3, № 1–2. С. 161–173.
- Метилртуть: [Пер. с англ.]. Совмест. изд. Прогр. ООН по окружающей среде, Междунар. орг. труда и ВОЗ. М.: Медицина, 1993. 124 с.
- МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. М.: Департамент санэпиднадзора Министерства здравоохранения РФ, 1999. 20 с.
- Минеев В.Г., Тришина Т.А., Алексеев А.А. Распределение ртути и ее соединений в биосфере // Агрохимия. 1983. №1. С. 122–132.
- Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
- Наумов Е.А., Задорожный М.В., Борисенко А.С. Гущина Л.В. Особенности состава и условия образования самородного золота разных типов Au-Hg месторождений // Металлогения древних и современных океанов – 2006. Условия рудообразования: материалы двенадцатой научной студенческой школы. Миасс: ИМин УрО РАН. 2006.

С. 167–171.

Оболенский А.А. Генезис месторождений ртутной рудной формации. Наука, Новосибирск. 1985. 193 с.

Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Янкович Е.П. Тяжелые металлы в почве и овощах как фактор риска для здоровья человека // Фундаментальные исследования. 2013. № 8. С. 681–686.

Павлова К.С., Робертус Ю.В., Кивацкая А.В. Характер изменения свойств и состава почв рекреационных территорий (на примере Катунского района Республики Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 1 (38). С. 338–342.

Перегудина Е.В., Ляпина Е.Е., Барановская Н.В. Эколого-геохимические особенности ртутной нагрузки на территорию юга Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 12. С. 65–75.

Пузанов А.В., Ельчиногова О.А., Рождественская Т.А. Тяжелые металлы в основных почвах Горного Алтая // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Мат. IV Междунар. научно-практ. конф. (19–21 октября 2006 г., Казахстан). Семипалатинск, 2006. С. 380–388.

Пузанов А.В., Ельчиногова О.А., Бабошкина С.В., Робертус Ю.В., Рождественская Т.А., Горбачев И.В., Трошкова И.А., Ковригин А.О. Эколого-геохимические и биогеохимические проблемы в бассейне Верхней Оби // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием (в четырех томах). 2017. С. 176–186.

Пузанов А.В., Мальгин М.А., Горюнова Т.А. Тяжелые металлы и мышьяк в почвах Кулундинской степи // Степи Северной Евразии: Стратегия сохранения природного разнообразия и степного природопользования в XXI веке. Мат. междунар. Симпозиума (31 декабря 2000 г., Россия). Оренбург, 2000. С. 320–322.

Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Ляпина Е.Е., Любимов Р.В., Юсупов Д.В., Осипова Н.А. Формы нахождения и переноса ртути в компонентах экосистем Горного Алтая // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. Т. 26, № 2. С. 185–192.

Роева Н.Н., Ровинский Ф.Я., Кононов Э.Я. Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах // Журнал аналитической химии. 1996. Т. 51, № 4. С. 384–397.

Росляков Н.А., Кусковский Г.В., Нестеренко В.С., Шварцев С.Л., Геря А.В., Калинин Ю.А., Крестовоздвиженский Д.Ю., Лукин А.А., Осинцев С.Р., Рыбакова С.Т. Катунь: экогеохимия ртути. Новосибирск: Наука, 1992. 182 с.

Савенко К.С., Робертус Ю.В. Новые подходы к оценке экологического состояния рекреационных ландшафтов Республики Алтай // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42, № 2. С. 59–68.

СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с измене-

ниями на 30 декабря 2022 года). 2022. 1163 с.

Скрипниченко И.И., Золотарева Б.Н. Распределение ртути по гранулометрическим фракциям лесостепных почв // Почвоведение. 1983. № 3. С. 128–135.

Степанов В.А. Месторождения благородных металлов и ртути Камчатки // Вестник АмГУ. 2023. Выпуск 103. С. 88–94.

Толкушкина Г.Д., Сарычев Н.Г., Кашин А.С. Концентрация токсичных элементов в почве, воде и кормах лесостепной зоны Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2005. № 3(19). С. 30–33.

Янин Е.П. Ртуть, человек, окружающая среда: краткий очерк. М.: Изд-во МГРЭ, 2005. 29 с.

Ignatavičius G., Unsal M.H., Busher P.E., Wołkiewicz S., Satkūnas J., Šulijienė G., Valskys V. Geochemistry of mercury in soils and water sediments // AIMS Environmental Science. 2022. Vol. 9. Is. 3. P. 277–297. doi: 10.3934/environsci.2022019

Qu R., Han G., Liu M., Li X. The Mercury Behavior and Contamination in Soil Profiles in Mun River Basin, Northeast Thailand. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019. Vol. 16(21). P. 4131. doi: 10.3390/ijerph16214131

References

Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical methods of soil research]. M.: Nauka, 1975. 656 p. (in Russian).

Anoshin G.N., Malikova I.N., Kovalev S.I., Malikov Y.I. Rtut' v okruzhayushchej srede yuga Zapadnoj Sibiri [Mercury in the environment of the South of Western Siberia] // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 1995. Vol. 3, no. 1–2. P. 69–111. (in Russian).

Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Guidelines for chemical analysis of soils]. M.: Izd-vo MGU, 1970. 488 p. (in Russian).

Baranovskaya N.V., Ivanov V.V., Osipova N.A., Panichev A.M., Chekryzhov I.Yu., Doronina V.D., Hvashevskaya A.A. Rtut' v pochvah i rastitel'nosti na zapovednyh territoriyah Primorskogo kraja [Mercury in soils and vegetation in protected areas of Primorsky Krai] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2022. Vol. 333, no. 11. P. 90–100. (in Russian).

Bessonov V.V., Yanin E.P. Sposoby ocenki i remediacii zagryaznennyh rtut'yu gorodskih pochv [Methods of assessment and remediation of mercury-contaminated urban soils] // Rtut'. Problemy geohimii, ekologii, analitiki. Sbornik nauchnyh trudov. M.: IMGRE, 2005. P. 160–180. (in Russian).

Braunlou A.H. Geohimiya [Geochemistry]. M.: Nedra, 1984. 436 p. (in Russian).

Vinogradov A.P. Srednee sodержание himicheskikh elementov v glavnyh tipah izverzhennyh gornyh porod zemnoj kory [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust] // Geohimiya. 1962. No. 7. P. 555–571. (in Russian).

Ganzej K.S., Pshenichnikova N.F., Kiselyova A.G., Yurchenko S.G., Rodnikova I.M.

Soderzhanie rtuti v pochvenno-rastitel'nom pokrove ostrovov Russkij i Shkota (zaliv Petra Velikogo, Primorskij kraj) [Mercury content in the soil and vegetation cover of Russian and Shkota Islands (Peter the Great Bay, Primorsky Krai)] // *Geohimiya*. 2021. Vol. 66, no. 5. P. 473–480. (in Russian).

Geohimiya okruzhayushchej sredy [Environmental geochemistry] / Eds. Yu.E. Saet, B.A. Revich, E.P. Yanin et al. M.: Nedra, 1970. 335 p. (in Russian).

Gigienicheskie kriterii sostoyaniya okruzhayushchej sredy. 1. Rtut' [Hygienic criteria for the state of the environment. Tsch. 1. Mercury]. Zheneva: VOZ. 1979. 148 p. (in Russian).

Gladyshev V.B. Toksichnye svoystva rtuti i ee vliyanie na organizm zhivotnyh i cheloveka [Toxic properties of mercury and its effects on animals and humans] // *The Scientific Heritage*. 2021. No. 81–2 (81). P. 16–22. (in Russian).

Glazovskaya M.A. Geohimiya prirodnyh i tekhnogennyh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR]. M.: Vysshaya shkola, 1988. 327 p. (in Russian).

Glinka N.L. Obshechaya himiya [General chemistry]. L.: Himiya, 1985. 702 p. (in Russian).

GOST 17.4.1.02-83. Ohrana prirody. Pochvy. Klassifikatsiya himicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya [Nature conservation. Soils. Classification of chemicals for pollution control]. M.: Gosstandart, 1983. 5 p. (in Russian).

GOST 17.4.4.02-84 Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [Nature conservation. Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. M.: Gosstandart, 1984. 8 p. (in Russian).

Grigor'ev N.A. Raspredelenie himicheskikh elementov v verhnej chasti kontinental'noj kory [Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2009. 382 p. (in Russian).

Gusev A.I. Tipizatsiya zoloto-rtutnogo orudneniya Gornogo Altaya [Typification of gold-mercury mineralization in Gorny Altai] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2012. No.12. P. 87–91. (in Russian).

Gustajtis M.A., Myagkaya I.N. Osobennosti raspredeleniya rtuti v volosah zhitelej poselka Aktash (Respublika Altaj) [Features of mercury distribution in the hair of residents of the village of Aktash (Altai Republic)] // *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*. 2022. Vol. 5, no. 1. e165. doi: 10.31251/pos.v5i1.165 (in Russian).

El'chinina O.A. Biogeohimicheskie aspekty ekologicheskoy ocenki nazemnyh ekosistem Altaya: monografiya [Biogeochemical aspects of ecological assessment of Altai terrestrial ecosystems: monograph]. Barnaul: Izd-vo AGAU, 2009. 141 p. (in Russian).

Efimova N.V., Koval' P.V., Rukavishnikov V.S., Bezgodov I.V. Problemy, svyazannye s zagryazneniem rtut'yu ob'ektov okruzhayushchej sredy [Problems related to mercury pollution of environmental facilities] // *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. 2005. No. 1 (39). P. 127–133. (in Russian).

Ivanov V.V. Ekologicheskaya geohimiya elementov [Ecological geochemistry of the elements]. Spravochnik. Kniga 5. Redkie delementy. M.: Ekologiya. 1997. 576 p. (in Russian).

Il'in V.B. Prirodnyj status tyazhelyh metallov v pochvennom pokrove na yuge Zapadnoj Sibiri [Natural status of heavy metals in soil cover in the south of Western Siberia] // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. 2004. No.1. P. 13–20. (in Russian).

Il'in V.B., Syso A.I., Bajdina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. Fonovoe kolichestvo tyazhelyh metallov v pochvah yuga Zapadnoj Sibiri [Background amount of heavy metals in soils of the south of Western Siberia] // Pochvovedenie. 2003. No. 5. P. 550–556. (in Russian).

Il'in V.B., Syso A.I., Konarbaeva G.A., Baidyna N.L., Cherevko A.S. Soderzhanie tyazhelyh metallov v pochvoobrazuyushchih porodah yuga Zapadnoj Sibiri [The content of heavy metals in the soil-forming rocks of the south of Western Siberia] // Pochvovedenie. 2000. No. 9. P. 1086–1090. (in Russian).

Imatali K.K. Biogeohimicheskaya ocenka pochvenno-rastitel'nogo pokrova rtutnoj tekhnogennoj provincii Ajdarken (Hajdarken) [Biogeochemical assessment of the soil and vegetation cover of the mercury technogenic province of Aydarken (Haydarken)] // Nauka i novye tekhnologii. 2015. No. 1. P. 97–101. (in Russian).

Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah [Trace elements in soils and plants]. M.: Mir, 1989. 440 p. (in Russian).

Kasimov N.S., Vlasov D.V. Klarki himicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeohimii [Clarks of chemical elements as reference standards in ecogeochemistry] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya. 2015. No. 2. P. 7–17. (in Russian).

Kuzubova L.I., Shuvaeva O.V., Anoshin G.N. Metilrtut' v okruzhayushchej srede (rasprostranenie, obrazovanie v prirode, metody opredeleniya) [Methylmercury in the environment (distribution, formation in nature, methods of determination)] Analit. obzor / GPNTB SO RAN. In-t neorg. himii. Analit. centr Ob''edin. in-ta geologii, geografii i mineralologii SO RAN. Novosibirsk. 2000. 82 p. (in Russian).

Lyapina E. E. Raspredelenie form nahozhdeniya rtuti v profile tipichnyh pochv Yuzhnoj Sibiri [Distribution of mercury concentrations in the profile of typical soils in Southern Siberia] // Interekspo Geo-Sibir'. 2021. Vol. 2, no. 2. P. 130–136. doi: 10.33764/2618-981X-2021-2-2-130–136. (in Russian).

Mal'gin M.A., Puzanov A.V. Rtut' v pochvah Tuvy [Mercury in the soils of Tuva] // Ohrana okruzhayushchej sredy i chelovek. Kyzyl. 1993. P. 45–47. (in Russian).

Mal'gin, M.A., Puzanov A.V. Rtut' v pochvah, pochvennom i prizemnom vozduhe Altae-Sayanskoj gornoj oblasti [Mercury in the soils, soil and surface air of the Altai-Sayan mountain region] // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 1995. Vol. 3, no. 1–2. P. 161–173. (in Russian).

Metilrtut' [Methylmercury]: [Per. s angl.] / Sovmest. izd. Progr. OON po okruzhayushchej srede, Mezhdunar. org. truda i VOZ. M.: Medicina, 1993. 124 p. (in Russian).

MU 2.1.7.730-99. Gigienicheskaya ocenka kachestva pochvy naselennyh mest

[Methodological guidelines of MU 2.1.7.730-99 Hygienic assessment of soil quality in populated areas]. M.: Department of Sanitary and Epidemiologic Surveillance of the Ministry of Health of the Russian Federation, 1999. 20 c. (in Russian).

Mineev V.G., Trishina T.A., Alekseev A.A. Raspredelenie rtuti i ee soedinenij v biosfere [Distribution of mercury and its compounds in the biosphere] // Agrohimiya. 1983. No. 1. P. 122–132. (in Russian).

Moiseenko T.I., Kudryavceva L.P., Gashkina N.A. Rasseyannye elementy v poverhnostnykh vodakh sushi: Tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya [Dispersed elements in land surface waters: Technophilicity, bioaccumulation, and ecotoxicology]. M.: Nauka, 2006. 261 p. (in Russian).

Naumov E.A., Zadorozhnyj M.V., Borisenko A.S. Gushchina L.V. Osobennosti sostava i usloviya obrazovaniya samorodnogo zolota raznykh tipov Au-Hg mestorozhdenij [Features of the composition and conditions of formation of native gold of different types of Au-Hg deposits] // Metallogeniya drevnih i sovremennykh okeanov – 2006. Usloviya rudoobrazovaniya: materialy dvenadcatoy nauchnoy studencheskoj shkoly. Miass: IMin UrO RAN. 2006. P. 167–171 (in Russian).

Obolenskij A.A. Genezis mestorozhdenij rtutnoj rudnoj formacii [Genesis of mercury ore formation deposits]. Nauka, Novosibirsk. 1985. 193 p. (in Russian).

Osipova N.A., Yazikov E.G., Yankovich E.P. Tyazhelye metally v pochve i ovoshchah kak faktor riska dlya zdorov'ya cheloveka [Heavy metals in soil and vegetables as a risk factor for human health] // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. No. 8. P. 681–686. (in Russian).

Pavlova K.S., Robertus Yu.V., Kivackaya A.V. Harakter izmeneniya svoystv i sostava pochv rekreacionnykh territorij (na primere Katunskogo rajona Respubliki Altaj) [The nature of changes in the properties and composition of soils in recreational areas (using the example of the Katunsky district of the Altai Republic)] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya. 2013. No. 1 (38). P. 338–342. (in Russian).

Peregudina E.V., Lyapina E.E., Baranovskaya N.V. Ekologo-geohimicheskie osobennosti rtutnoj nagruzki na territoriyu yuga Zapadnoj Sibiri [Ecological and geochemical features of the mercury load on the territory of the South of Western Siberia] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2023. Vol. 334, no. 12. P. 65–75 (in Russian).

Puzanov A.V., El'chinina O.A., Rozhdestvenskaya T.A. Tyazhelye metally v osnovnykh pochvah Gornogo Altaya [Heavy metals in the main soils of the Altai Mountains] // Tyazhelye metally i radionuklidy v okruzhayushchej srede: Mat. IV Mezhdunar. nauchno-prakt. konf (October 19–21, 2006). Semipalatinsk. 2006. P. 380–388. (in Russian).

Puzanov A.V., El'chinina O.A., Baboshkina S.V., Robertus Yu.V., Rozhdestvenskaya T.A., Gorbachev I.V., Troshkova I.A., Kovrigin A.O. Ekologo-geohimicheskie i biogeohimicheskie problemy v bassejne Verhnej Obi [Ecological, geochemical and biogeochemical problems in the Upper Ob basin] // Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Central'noj Azii. Trudy III

Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (v chetyrekh tomah). 2017. P. 176–186. (in Russian).

Puzanov A.V., Mal'gin M.A., Goryunova T.A. Tyazhelye metally i mysh'yak v pochvah Kulundinskoj stepi [Heavy metals and arsenic in the soils of the Kulunda steppe] // Step'i Severnoj Evrazii: Strategiya sohraneniya prirodnogo raznoobraziya i stepnogo prirodopol'zovaniya v XXI veke. Mat. mezhdunar. Simpoziuma (December 31, 2000). Orenburg. 2000. P. 320–322. (in Russian).

Robertus Yu.V., Rihvanov L.P., Lyapina E.E., Lyubimov R.V., Yusupov D.V., Osipova N.A. Formy nahozhdeniya i perenosa rtuti v komponentah ekosistem Gornogo Altaya [Forms of mercury finding and transport in the components of ecosystems of the Altai Mountains] // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. 2018. Vol. 26. no. 2. P. 185–192. (in Russian).

Roeva N.N., Rovinskij F.Ya., Kononov E.Ya. Specificheskie osobennosti povedeniya tyazhelykh metallov v razlichnykh prirodnnykh sredah [Specific features of the behavior of heavy metals in various natural environments] // Zhurnal analiticheskoy himii. 1996. Vol. 51, no. 4. P. 384–397. (in Russian).

Roslyakov N.A., Kuskovskij G.V. Nesterenko V.S. i dr. Katun': ekogeohimiya rtuti [Katun: ecogeochemistry of mercury]. Novosibirsk: Nauka, 1992. 182 p. (in Russian).

Savenko K.S., Robertus Yu.V. Novye podhody k ocenke ekologicheskogo sostoyaniya rekreacionnykh landshaftov Respubliki Altaj [New approaches to the assessment of the ecological state of the recreational landscapes of the Altai Republic] // Geografiya i prirodnye resursy. 2021. Vol. 42, no. 2. P. 59–68. (in Russian).

SanPiN 1.2.3685-21 Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans] (s izmeneniyami na 30 dekabrya 2022 goda). 2022. 1163 p.

Skripnichenko I.I., Zolotareva B.N. Raspredelenie rtuti po granulometricheskim frakciyam lesostepnykh pochv [Distribution of mercury by granulometric fractions of forest-steppe soils] // Pochvovedenie. 1983. No. 3. P. 128–135. (in Russian).

Stepanov V.A. Mestorozhdeniya blagorodnykh metallov i rtuti Kamchatki [Deposits of precious metals and mercury in Kamchatka] // Vestnik AmGU. 2023. Vol. 103. P. 88–94. (in Russian).

Tolkushkina G.D., Sarychev N.G., Kashin A.S. Koncentraciya toksichnykh elementov v pochve, vode i kormah lesostepnoj zony Altajskogo kraya [The concentration of toxic elements in the soil, water and feed of the forest-steppe zone of the Altai Territory] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2005. No. 3(19). P. 30–33. (in Russian).

Yanin E.P. Rtut', chelovek, okruzhayushchaya sreda: kratkij ocherk [Mercury, man, and the environment: a brief outline]. M.: Izd-vo MGRE, 2005. 29 p. (in Russian).

Ignatavičius G., Unsal M.H., Busher P.E., Wołkowicz S., Satkūnas J., Šulijienė G., Valskys V. Geochemistry of mercury in soils and water sediments // AIMS Environmental Science.

2022. Vol. 9. Is. 3. P. 277–297. doi: 10.3934/environsci.2022019

Qu R., Han G., Liu M., Li X. The Mercury Behavior and Contamination in Soil Profiles in Mun River Basin, Northeast Thailand. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019. Vol. 16(21). P. 4131. doi: 10.3390/ijerph16214131

MERCURY IN SOILS OF RECREATIONAL AREAS OF THE LOWER KATUNYA BASIN

I.A. Troshkova, O.A. Elchininova, A.V. Puzanov, S.V. Baboshkina,
T.A. Rozhdestvenskaya

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: egorka_iren@mail.ru

The Hg content in most soils of areas with high recreational load in the Katun basin exceeds both the regional and global background, which is associated with the influence of natural mercury sources - deposits, ore occurrences, dispersion halos of mercury regions of the Altai-Sayan Mountain country. However, it is significantly lower than the MAC, and mercury pollution of water, as well as a negative impact on biota and higher links of the ecological chain are unlikely. The initial heterogeneity of soil-forming substrates in terms of granulometric and mineralogical composition determined the uneven distribution of mercury in the soil profile and the impossibility of isolating the influence of soil-forming macroprocesses on the intra-profile distribution of the element.

Keywords: soils; mercury; concentration; pollution; Katun.

Received December 20, 2024. Accepted: February 20, 2024

Сведения об авторах

Трошкова Ирина Александровна – младший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-2809-8022. E-mail: egorka_iren@mail.ru.

Ермолаева Надежда Ивановна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-4529-034X. E-mail: hope413@mail.ru.

Пузанов Александр Васильевич – профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwerp.ru.

Бабошкина Светлана Вадимовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-9904-991X. E-mail: svetlana@iwerp.ru.

Рождественская Тамара Анатольевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-8487-2495. E-mail: rtamara@iwep.ru.

Information about authors

Troshkova Irina Aleksandrovna – Junior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-2809-8022. E-mail: egorka_iren@mail.ru.

Elchinina Olga Anatolyevna – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Gorno-Altai Branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-4482-9000. E-mail: eoa59@mail.ru.

Puzanov Alexander Vasilyevich – Dr Sc. in Biology, Associate Professor, Chief Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Baboshkina Svetlana Vadimovna – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-9904-991X. E-mail: svetlana@iwep.ru.

Rozhdestvenskaya Tamara Anatolyevna – PhD in Biology, Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-8487-2495. E-mail: rtamara@iwep.ru.

Раздел 3 ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ,
ГИДРОХИМИЯ

Section 3 HYDROLOGY OF LAND, WATER RESOURCES,
HYDROCHEMISTRY

УДК 550.46

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВОДРАЗДЕЛЬНЫХ
УЧАСТКАХ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТНОГО МАССИВА В
ВОДОСБОРЕ РЕКИ МУРА (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

О.Г. Савичев, В.А. Домаренко

Томский политехнический университет, Томск,

E-mail: osavichev@mail.ru, viktor_domarenko@mail.ru

Выполнено исследование внутригодовых изменений химического состава поверхностных и подземных вод в водосборе реки Мура (Мура – Шегарка – Обь) в 2024 г., включавшее использование масс-спектрометрического метода с индуктивно связанной плазмой и термодинамические расчеты. Значимая связь между показателями подземных напорных вод (отложения палеогенового возраста) и болотно-речных вод не выявлена. Косвенное влияние болотных вод проявляется, но оно связано не с прямым поступлением веществ в подземные воды из болот, а с палеогидрологическими условиями и водообменом между водоносными горизонтами.

Ключевые слова: химический состав вод; взаимодействие подземных и поверхностных вод; Западная Сибирь; река Мура.

DOI:10.24412/2410-1192-2025-17603

Дата поступления: 30.10.2024. Принята к печати: 16.12.2024

Западно-Сибирская равнина характеризуется очень сильной заболоченностью, превышающей в водосборах ряда средних рек 30%, а в водосборах многих малых рек – 50% и более. Поступление болотных вод с высоким содержанием органических веществ и продуктов их трансформации в реки и подземные воды не может не сказываться на их геохимическом состоянии, что необходимо учитывать при нормировании воздействий на водные объекты и долгосрочном планировании мероприятий по охране и комплексному использованию водных ресурсов [Болота..., 1976; Пузанов и др., 2022; Guseva, Savichev, 2024]. Это обстоятельство определяет актуальность эколого-геохимических исследований взаимодействия поверхностных и подземных вод в Западной Сибири, которые проводятся во многих научных центрах Российской Федерации [Zemtsov, Savichev, 2015; Зиновьев и др., 2024], в том числе и в Томском политехническом университете (ТПУ).

В процессе исследований получены значимые научные материалы, в частности, показано, что, во-первых, процессы заболачивания взаимосвязаны с противоположно направленными процессами водной эрозии; минеральные вещества с поверхности водосборов поступают в речную сеть и накапливаются на участках речных русел, вызывая постепенное изменение условий взаимодействия речных и подземных вод с тенденцией роста уровней последних. Но по мере олиготрофизации болот и сокращения доли низинных болот уменьшается водообмен между болотами и подземными водоносными горизонтами, а уровни подземных вод возрастают и в ряде случаев могут «подпирать» подстилающие болота минеральные грунты с низкими фильтрационными свойствами [Савичев, 2024]. Во-вторых, взаимодействие подземных и поверхностных вод на заболоченных территориях в таежной зоне Западной Сибири (с учетом указанных выше процессов) минимально на участках распространения верховых болот или их участков и приурочено преимущественно к речным долинам, в том числе к участкам распространения низинных болот. В долинах изученных рек наблюдается примерное соответствие нисходящего и подпорного режимов взаимодействия речных и подземных вод [Савичев и др., 2023].

Тем не менее, достоверной количественной информации о характере и степени взаимодействия поверхностных и подземных вод на заболоченных водоразделах пока крайне недостаточно вследствие того, что большая часть гидрогеологических скважин расположена именно в речных долинах или на прилегающих к ним территориях. Это

и определило соответствующую цель рассматриваемой работы – оценку (количественную) влияния болот на химический состав речных и напорных подземных вод в водосборе малой реки Мура в Шегарском административном районе Томской области.

Материалы и методы

Достижение указанной выше цели предполагалось путем выявления внутри-годовых изменений химического состава речных и напорных подземных вод в водосборе реки Мура, которая является элементом речной сети «Мура – Шегарка – Обь» (водохозяйственный код: КАР/ОБЬ/2605/112) и имеет протяженность 22 км (рис. 1). Истоки реки Мура приурочены к восточной части Васюганского болота, а выраженное в рельефе русло практически начинается у пересечения с автодорогой Томск – Бакчар на участке 51 км (от г. Томска), где и был размещен пункт наблюдений I.

Площадь речного водосбора в этом створе оценивается в размере 40 км², а заболоченность – 75%. Пункт наблюдений II расположен на участке с уже однозначно заметными очертаниями русла и долины р. Мура в с. Вороновка выше сброса очищенных сточных вод. Площадь водосбора реки в этом створе составляет уже 150 км², а общая заболоченность – 40% (площади и заболоченность водосборов определены Савичевым О.Г. с использованием данных дистанционного зондирования Земли; методика дешифрирования и общая характеристика полученных результатов приведены в [Bazanov et al., 2009]). Там же (в с. Вороновка) расположена и эксплуатационная скважина, вскрывающая отложения палеогена (Новомихайловская свита; рис. 1, III).

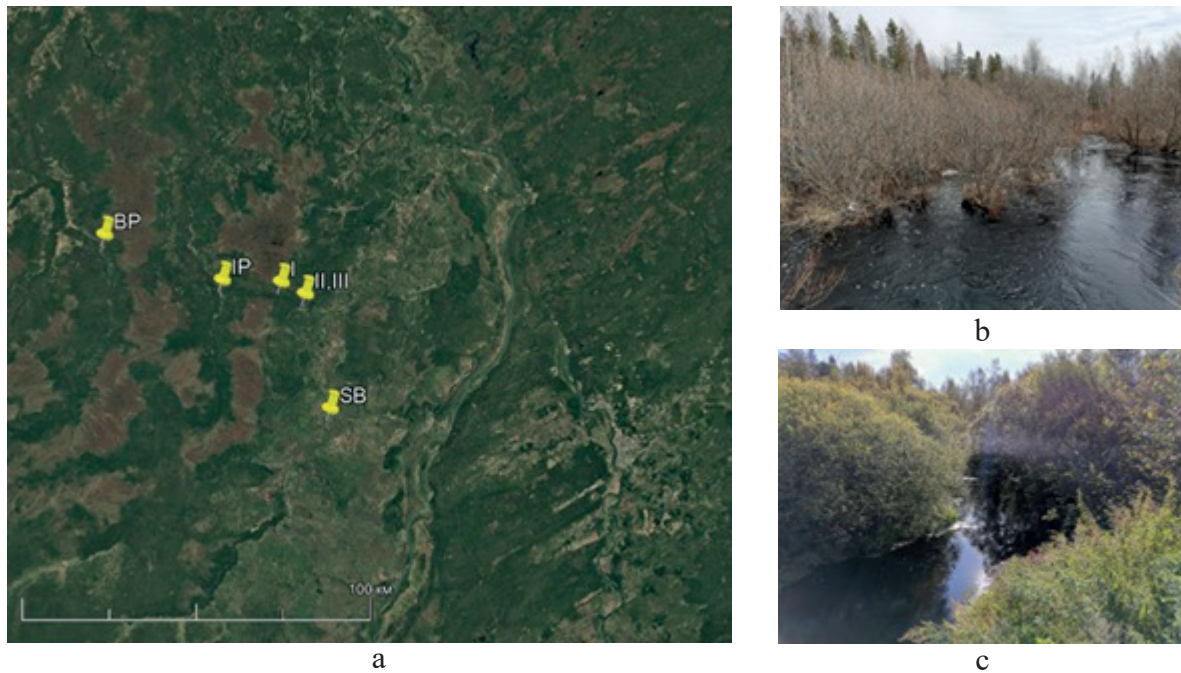


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений (а) в водосборе р. Мура (I – р. Мура, 51 км трассы Томск – Бакчар; II – р. Мура, с. Вороновка; III – скважина, с. Вороновка) и на прилегающих территориях (BP – р. Бакчар у с. Полянйянка; IP – р. Икса у с. Плотниково; SB – р. Шегарка у с. Бабарыкино); фото участка р. Мура у с. Вороновка, пункт II: б) 05.05.2024 г.; в) 19.08.2024 г.

Fig. 1. Layout of observation points (a) in the Mura River catchment area (I – the Mura river, 51 km of the Tomsk – Bakchar road; II – the Mura river at Voronovka; III – well, Voronovka village) and in adjacent territories (BP – the Bakchar river at Polynyanka; IP – the Iksa river at Plotnikovo; SB – the Shegarka river at Babarykino village); photo of the Mura river section at Voronovka, point II: b) 05.05.2024; c) 19.08.2024

Методика исследования в целом основана на предположении, что в истоках реки Мура (пункт I) связь болотных и речных вод с подземными должна быть существенно слабее, чем на участке среднего течения (пункт II). Соответственно, синхронные, хорошо заметные изменения гидрогеохимических показателей могут указывать на: 1) существенный приток болотных вод в речную сеть (при сопоставимых изменениях химического состава вод р. Мура в пунктах I и II; доступ непосредственно на болото существенно осложнен вследствие переобводненности территории, но ранее был выполнен комплекс соответствующих исследований на рядом расположенном участке Васюганского болота в пределах водосбора реки Ключ [Савичев, Мазуров, 2018]),

либо его отсутствие (незначимое влияние); 2) поступление болотных вод в глубокие водоносные горизонты (на глубины более 50–100 м), перекрытые водоупорными отложениями (рис. 2), либо его отсутствие (незначительность).

Обе гипотезы (особенно вторая) играют значительную роль в обосновании механизмов формирования геохимических аномалий вплоть до условий формирования проявлений осадочных железных руд в южной части Западно-Сибирской равнины [Домаренко и др., 2024]).

Отбор проб речных (на глубине 0.3 м от поверхности) и подземных вод проводился в 2024 г. в основные фазы водного режима: в зимнюю межень (9 марта); весенне-летнее половодье (5 мая); летне-осеннюю межень (19 августа).

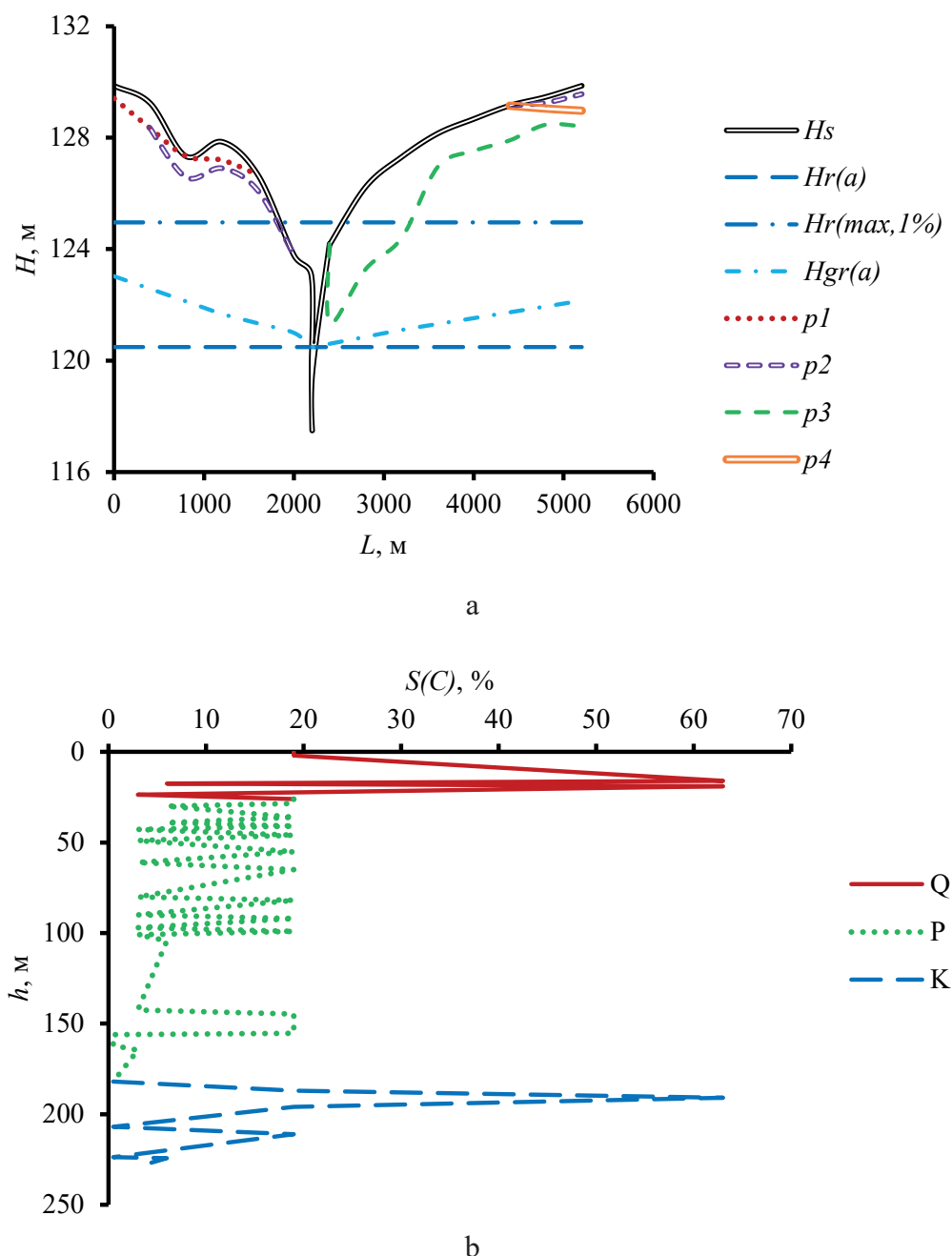


Рис. 2. Условия взаимодействия поверхностных и подземных вод в районе исследования (в водосборе р. Бакчар): а) поперечный профиль долины р. Бакчар в 87 км от истока [Савичев, 2024]; L – расстояние от условной точки; H – высотная отметка; H_s – высотная отметка поверхности водосбора или дна реки; $H_r(a)$ и $H_r(max, 1\%)$ – средний годовой и максимальный с обеспеченностью 1% уровни воды в р. Бакчар; $H_{gr}(a)$ – средний годовой уровень грунтовых вод; p – высотная отметка нижней поверхности слоя торфяной залежи с преобладанием торфов верхового сфагново-мочажинного ($p1$) и низинных осокового ($p2$), травяного ($p3$) и березового ($p4$); б) изменение по глубине h среднего содержания глинистых частиц $S(C)$ по данным поисковой скважины № 124 южнее с. Бакчар [Савичев и др., 2023]

Fig. 2. Conditions of interaction between surface and groundwater in the study area (in the Bakchar River catchment area): a) cross-section of the Bakchar river valley 87 km from the source [Savichev, 2024]; L is the distance from the conditional point; H is the elevation; H_s is the elevation of the catchment surface or river bottom; $H_r(a)$ and $H_r(max, 1\%)$ are the average annual and maximum water levels with a probability of 1% in the Bakchar river; $H_{gr}(a)$ is the average annual groundwater level; p – elevation of the lower surface of the peat deposit layer with a predominance of high-moor sphagnum-hollow peat ($p1$) and low-moor sedge ($p2$), grass ($p3$) and birch ($p4$) peat; b) change in depth h of the average content of clay particles $S(C)$ according to data from exploration well No. 124 south at Bakchar [Savichev et al., 2023]

В пробах воды в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории ТПУ под руководством А.А. Хвощевой были определены значения pH (потенциометрический метод), удельная электропроводность УЭП (кондуктометрический), перманганатная окисляемость РО, валовые содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , CO_2 (титриметрический), SO_4^{2-} (турбидиметрический), NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- (фотометрический), Na^+ , K^+ (пламенно-эмиссионная спектрометрия) и более 30 микроэлементов (масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой МС-ИСП с использованием масс-спектрометра NexION 300D). Одновременно с отбором проб воды в р. Мура в пункте I определены расходы воды Q гидравлическим способом (по глубине потока в дорожной трубе), а в пункте II – расчетом по модулю стока.

Полученные данные о химическом составе речных и подземных вод сопоставлялись между собой с учетом фаз водного режима (в верхнем течении изученной реки 9 марта сток и жидкая вода в русле отсутствовали) с проверкой условия:

$$Kr = \frac{\sqrt{\sum (k_{1,t} - k_{2,t})^2}}{\sigma_{k1}} \leq 0.8,$$

где $k_{1,t}$ и $k_{2,t}$ – модульные коэффициенты (отношение значения гидрохимического показателя в момент времени t к среднему значению) в пунктах 1 и 2; σ_{k1} – среднее квадратическое отклонение модульного коэффициента в пункте 1. В случаях, когда $Kr > 0.8$, наиболее вероятно отсутствие синхронных колебаний исследуемого гидрохимического показателя. Кроме того, был выполнен расчет индексов насыщения SI (на основе метода констант с использова-

нием уравнения Дэвиса для определения коэффициентов активности заряженных частиц) относительно ряда минералов и органо-минеральных соединений:

$$SI = \lg PA - \lg K_{neq},$$

где PA – произведение активностей группы веществ; K_{neq} – константа неустойчивости (отрицательные значения индекса SI свидетельствуют о потенциальном недосыщении, а положительные – о пресыщении раствора относительно рассматриваемого минерала). Методика расчетов приведена в [Савичев и др., 2003]).

Результаты и обсуждение

В марте 2024 г. в русле р. Мура в пункте I водный сток отсутствовал (в дорожной трубе вода отсутствовала и в жидком, и в твердом виде), что само по себе уже позволяет предположить, что в зимнюю межень взаимодействие болотных, речных и, тем более, подземных вод если и не отсутствует вовсе, то существенно затруднено. В остальных случаях изученные воды в целом характеризуются как пресные, гидрокарбонатные кальциевые (табл.), близки к равновесию с кварцем и глинистыми минералами, особенно каолинитом (рис. 3), но в течение гидрологического года минерализация речных вод увеличивается от весны к зиме примерно в 10 раз, в то время как минерализация подземных вод находится практически в пределах погрешности определения среднего с уровнем значимости 5% (среднее арифметическое для трех проб $A = 906.2 \text{ мг/дм}^3$, погрешность определения среднего $\sigma_A \approx \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 19.4 \text{ мг/дм}^3$; то есть ми-

нерализация находится в пределах от 873.5 sev, 2008] представлениям о связи минера- до 938.9 мг/дм³, что в целом соответствует лизации подземных вод с интенсивностью изложенным в [Шварцев и др.. 2007; Shvart- водообмена в условиях таежной зоны).

Таблица

Химический состав речных и подземных вод в водосборе р. Мура в 2024 г.

Table

Chemical composition of river and groundwater in the Mura river basin in 2024

Показатель	Предел обнаружения	р. Мура					Подземные воды, горизонт Р _{nm}		
		51 км а/д, пункт I		с. Вороновка, пункт II			с. Вороновка, пункт III		
		05.05	19.08	09.03	05.05	19.08	09.03	05.05	19.08
Q, м ³ /с	—	0.98	0.01	0.02	3.68	0.03	нд	нд	Нд
pH, ед. pH	1	6.10	6.30	7.40	6.80	7.60	7.40	7.50	7.50
ПО, мгО/дм ³	0.25	40.0	60.0	8.8	44.0	33.0	4.6	4.0	4.3
УЭП, мкС/см	5	46	63	690	74	244	1026	960	968
CO ₂ , мг/дм ³	4	12.7	21.0	нд	5.6	7.0	нд	9.3	17.6
Σ _{mi} , мг/дм ³	—	33.1	62.9	650.6	65.3	229.8	927.3	917.3	874.0
Ca ²⁺ , мг/дм ³	1.0	8.0	12.5	109.0	13.4	39.0	118.0	115.0	135.0
Mg ²⁺ , мг/дм ³	0.04	1.4	2.2	28.0	2.4	10.0	25.0	25.3	12.0
Na ⁺ , мг/дм ³	0.1	1.9	1.3	13.0	1.8	3.7	81.0	83.0	74.0
K ⁺ , мг/дм ³	0.05	1.1	0.7	1.8	1.6	1.0	2.3	1.9	1.8
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	3	14.6	35.0	481.0	39.0	171.0	669.0	659.0	622.0
Cl ⁻ , мг/дм ³	0.5	2.9	9.6	8.2	3.1	5.0	27.0	26.0	26.2
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	2.0	3.2	1.7	9.6	4.0	0.1	5.0	7.1	3.0
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0.1	0.19	0.01	9.40	0.34	0.05	6.80	0.10	0.01
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.02	1.00	0.01	0.04
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0.05	1.30	0.39	1.40	1.30	0.11	0.07	2.00	1.49
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	0.01	0.12	0.28	0.11	0.12	0.26	0.17	0.21	0.04
F, мг/дм ³	0.1	0.1	<0.1	0.5	0.1	0.1	0.6	0.4	0.3
Si, мг/дм ³	0.2	0.74	6.36	9.39	1.58	9.12	14.62	12.40	27.79
Fe, мг/дм ³	0.05	0.35	5.21	2.36	0.37	2.29	2.09	0.01	3.59
Li, мкг/дм ³	0.01	1.40	3.41	3.81	1.50	4.13	4.29	5.10	7.07
Al, мкг/дм ³	1	200	1322	8	140	63	<1	23	1
Ti, мкг/дм ³	0.1	1.4	15.0	1.6	1.1	3.0	1.7	1.1	7.2
V, мкг/дм ³	0.1	1.1	2.9	0.2	0.4	0.6	<0.1	75.0	0.2
Mn, мкг/дм ³	0.1	2	712	5337	3	814	367	5	354
Co, мкг/дм ³	0.1	0.5	5.6	5.8	<0.1	1.7	0.3	<0.1	0.8
Ni, мкг/дм ³	0.1	0.5	2.2	1.0	<0.1	2.0	0.2	<0.1	<0.1
Cu, мкг/дм ³	0.1	0.0	1.9	0.0	<0.1	0.4	3.0	<0.1	79.7
Zn, мкг/дм ³	0.1	4.9	20.3	0.1	2.1	2.2	5.4	2.5	132.7
Rb, мкг/дм ³	0.1	<0.1	1.9	0.1	<0.1	2.0	4.6	<0.1	6.2
Sr, мкг/дм ³	2	67	85	568	130	371	1176	1870	1652
Ba, мкг/дм ³	2	4	21	107	9	30	554	240	352

Примечание: Q – расход воды (погрешность определения 5%); ПО – перманганатная окисляемость; УЭП – удельная электропроводность; Σmi – сумма главных ионов (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻, Cl⁻, SO₄²⁻), определяется расчетом; «нд» – нет данных

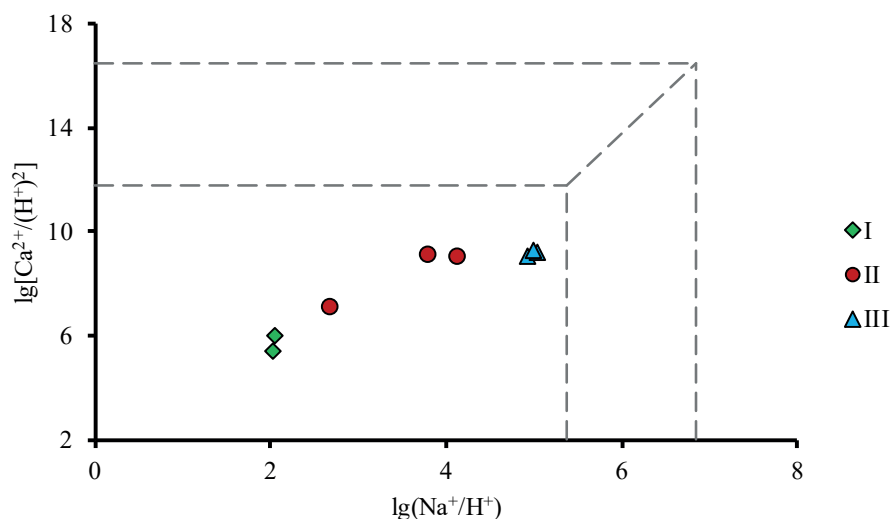


Рис. 3. Система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-CaO-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ при 25 °C, $\lg[\text{H}_4\text{SiO}_4] = -3.5$ и $P_{\text{CO}_2} = 101.5$ Па с нанесением данных по составу вод изученных водных объектов в 2024 г.:

I – р. Мура, верхнее течение; *II* – р. Мура, среднее течение, с. Вороновка; *III* – подземные воды отложений палеогенового возраста, с. Вороновка (табл.); $\lg[\text{Ca}^{2+}/(\text{H}^+)^2] = (1.17 \pm 0.16) \cdot \lg[\text{Na}^+/\text{H}^+] + (3.73 \pm 0.64)$; квадрат корреляционного отношения $R^2 = 0.90$

Fig. 3. The $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-CaO-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ system at 25 °C, $\lg[\text{H}_4\text{SiO}_4] = -3.5$ and $P_{\text{CO}_2} = 101.5$ Pa with the plotted data on the composition of the waters of the studied water bodies in 2024:

I – the Mura river, upper reaches; *II* – the Mura river, middle reaches, Voronovka village; *III* – groundwater of Paleogene sediments, Voronovka village (table); $\lg[\text{Ca}^{2+}/(\text{H}^+)^2] = (1.17 \pm 0.16) \cdot \lg[\text{Na}^+/\text{H}^+] + (3.73 \pm 0.64)$; the square of the correlation ratio $R^2 = 0.90$

Также следует отметить асинхронное изменение суммы главных ионов Σ_{mi} (как показатель минерализации) в подземных (пункт III) и речных водах: величина $Kr(\Sigma: \text{II-III})$ в подземных водах и в р. Мура у с. Вороновка (пункт II) составляет 0.81 (по трем датам); в подземных водах и в пункте I (2 даты) $Kr(\Sigma: \text{I-III}) = 3.72$. Очень слабая взаимосвязь подземных и поверхностных вод отмечена и по перманганатной окисляемости (ПО): $Kr(\text{ПО}: \text{II-III}) = 0.90$; $Kr(\text{ПО}: \text{I-III}) = 5.61$. Для р. Мура в пунктах I и II наблюдается сопоставимое изменение в течение годы суммы главных ионов (величина $Kr(\Sigma: \text{I-II}) = 0.56$), но разнонаправленные колебания перманганатной окисляемости ($Kr(\text{ПО}: \text{I-II}) = 1.21$). Это, видимо, связано с тем, что в пункте I еще существенно прослеживается влияние на содержание органических веществ болотных процессов, в то время как в пункте II уже больше проявляется режим, характерный для реки с устойчивым подземным питанием. Данный вывод подтверждается и результатами расчета значений Kr для содержаний железа, косвенно свидетельствующими о отсутствии связи болотно-речных вод в верховьях р. Мура с напорными подземными водами ($Kr(\text{Fe}: \text{I-III}) = 2.21$) и о влиянии на речные воды в среднем течении р. Мура как болотных $Kr(\text{Fe}: \text{I-II}) = 0.12$, так и подземных вод ($Kr(\text{Fe}: \text{II-III}) = 0.55$).

Различные для поверхностных и подземных вод тенденции внутригодовых изменений отмечены и при изучении условий взаимодействий в системе «вода – порода» (рис. 4). В частности, отмечено, что подземные напорные воды в течение всего года пересыщены относительно

кварца и ряда карбонатных минералов, в то время как поверхностные воды недонасыщены или близки к равновесию в отсутствие ледового покрова.

Таким образом, полученные результаты в целом подтверждают результаты ранее выполненных исследований [Савичев и др., 2023; Савичев, 2024] с применением методов косвенных оценок (воднобалансовые расчеты и анализ обобщенных материалов о химическом

составе поверхностных и подземных вод региона) о том, что взаимодействие подземных и поверхностных вод на заболоченных территориях в подзоне южной тайги Западной Сибири минимально на участках распространения верховых болот и приурочено преимущественно к заболоченным долинам, а сами взаимодействия поверхностных и подземных вод имеют сложный, нелинейный характер.

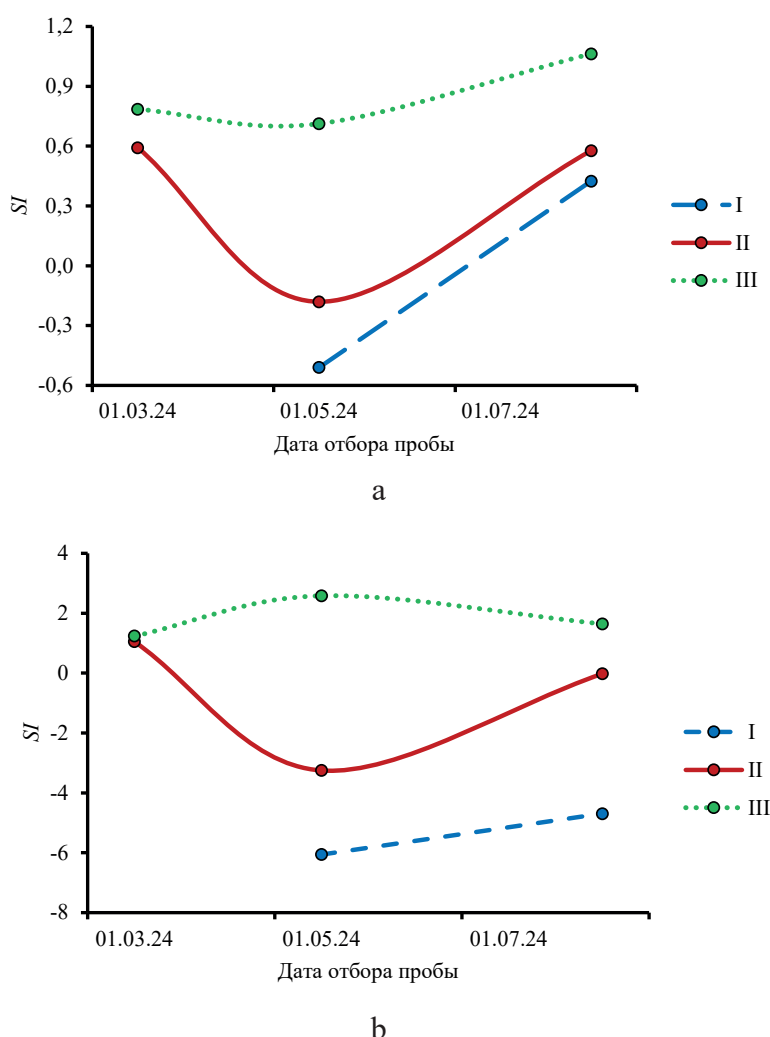


Рис. 4. Внутригодовые изменения индекса насыщения поверхностных и подземных вод относительно кварца (а: $\text{SiO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4^0$) и доломита (б: $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2 + 2 \cdot \text{CO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4 \cdot \text{HCO}_3^-$) в 2024 г.: I – р. Мура, верхнее течение; II – р. Мура, среднее течение, с. Вороновка; III – подземные воды отложений палеогенового возраста, с. Вороновка (табл.)

Fig. 4. Intra-annual changes in the saturation index of surface and groundwater relative to quartz (a: $\text{SiO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4^0$) and dolomite (b: $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2 + 2 \cdot \text{CO}_2 + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4 \cdot \text{HCO}_3^-$) in 2024: I – the Mura river, upper reaches; II – the Mura river, middle reaches, Voronovka village; III – groundwater of Paleogene sediments, Voronovka village (table)

Заключение

Исследование, выполненное в сильно заболоченном водосборе малой реки Мура – элементе речной системы «Мура – Шегарка – Обь» (Томская область, юго-восток Западно-Сибирской равнины), показало, что значимая связь между показателями подземных напорных вод в отложениях палеогена и болотно-речных вод на водоразделе рек Шегарка и Чая практически отсутствовала в период наблюдений в 2024 г. Наибольшие различия в динамике внутригодовых изменений отмечены для суммы главных ионов – характеристике общей минерализации вод и ключевом показателе водообмена между поверхностными и подземными водами (обычно наблюдается хорошо выраженная обратная зависимость между суммой главных ионов и расходом воды).

Безусловно, подземные напорные воды испытывают влияние заболоченности, что заметно по повышенным концентрациям органических веществ, азота аммонийного и железа. Но, судя по различным тенденциям изменений других гидрохимических показателей, эта связь определяется палеогидрологическими и гидрогеологическими условиями (включая формирование и деградацию болот в меловом периоде и в палеогене), величиной и направлением водообмена между водоносными горизонтами в четвертичных отложениях, отложениях палеогена и мела, а также условиями взаимодействий в системе «вода – порода» в соответствии с положениями, развиваемыми в Сибирской гидрогеохимической школе [Шварцев и др., 2007; Shvartsev, 2008].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Исследование выполнено за счет гранта РНФ (проект № 23-27-00039).

Список литературы

Болота Западной Сибири. Их строение и гидрологический режим / Ред. К.Е. Иванов, С.М. Новиков. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. 447 с.

Домаренко В.А., Пшеничкин А.Я., Дмитриенко В.П., Перегудина Е.В., Кенесбаев Б.К. Западно-Сибирский железорудный пояс: проблемы и перспективы. Томск: Изд-во ООО «СТТ», 2024. 180 с.

Зиновьев А.Т., Винокуров Ю.И., Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Трошкин Д.Н., Ельчиногова О.А., Ермолаева Н.И., Кириллов В.В., Кошелев К.Б., Краснаярова Б.А., Рождественская Т.А., Романов А.Н., Рыбкина И.Д., Папина Т.С., Яныгина Л.В. ИВЭП СО РАН: на пути решения водных и экологических проблем Сибири (к 300-летию Российской Академии наук) // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024. № 1 (72). С. 86–102. doi: 10.24412/2410-1192-2023-17207

Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Ермолаева Н.И., Зиновьев А.Т., Кошелева Е.Д., Краснаярова Б.А., Ловцкая О.В., Папина Т.С., Рыбкина И.Д., Трошкин Д.Н., Шарабарина С.Н., Яныгина Л.В. Современные водохозяйственные и экологические проблемы бассейна Оби и прогноз состояния до 2030 года // Водное хозяйство России: проблемы, техно-

логии, управление. 2022. № 6. С. 45–58. doi: 10.35567/19994508_2022_6_3.

Савичев О.Г. Изменения условий взаимодействия подземных, речных и болотных вод при заболачивании Западно-Сибирской равнины в голоцене // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т. 335, № 2. С. 170–186. doi: 10.18799/24131830/2024/2/4535

Савичев О.Г., Домаренко В.А., Владимирова О.Н., Перегудина Е.В., Кенесбаев Б.К. Условия взаимодействия природных вод в пределах Бакчарского рудного узла (Западная Сибирь) // Разведка и охрана недр. 2023. №10. С. 61–67. doi: 10.53085/0034-026X_2023_10_61

Савичев О.Г., Колоколова О.В., Жуковская Е.А. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами // Геоэкология. 2003. № 2. С.108–119.

Савичев О.Г., Мазуров А.К. Временные изменения химического состава вод в восточной части Васюганского болота (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329, №2. С. 38–48.

Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А., Дутова Е.М., Кондратьева И.А., Копылова Ю.Г., Лепокурова О.Е. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода: в 5 т. Т. 2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза. Новосибирск: СО РАН, 2007. 389 с.

Bazanov V.A., Berezin A.E, Savichev O.G., Skugarev A.A. The phytoindication method for mapping peatlands in the taiga zone of the West-Siberian Plain // International Journal of Environmental Studies. 2009. Vol. 66, no. 4. P. 473–484. doi: 10.1080/00207230903303729

Guseva N., Savichev O. Paths to Clean Water Under Rapidly Changing Environment // BRICS Countries: Sustainable Water Resource Management and Pollution Control. Eds. Li Y., Chaudhuri H., Corrêa Rotunno Filho O., Guseva N., Bux F. Springer, Singapore, 2024. doi: 10.1007/978-981-99-9581-3_2

Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the Earth // Geochemistry International. 2008. Vol. 46, no 13. P. 1285–1398.

Zemtsov V.A., Savichev O.G. Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research // International Journal of Environmental Studies. 2015. Vol. 72, no. 3. P. 386–396. <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2015.1019299>

References

Bolota Zapadnoy Sibiri. Ikh stroyeniye i gidrologicheskiy rezhim [Western Siberian Swamps. Their Structure and Hydrological Regime] / Eds. K.E. Ivanov, S.M. Novikov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 447 p. (in Russian).

Domarenko V.A., Pshenichkin A.Ya., Dmitrienko V.P., Peregudina E.V., Kenesbaev B.K. Razvedka i okhrana neдр [West Siberian Iron Ore Belt: Problems and Prospects]. Tomsk: Publishing House ООО “СТТ”, 2024. 180 p. (in Russian).

Zinoviev A.T., Vinokurov Yu.I., Puzanov A.V., Bezmaternykh D.M., Troshkin D.N., Elchinina O.A., Ermolaeva N.I., Kirillov V.V., Koshelev K.B., Krasnoyarova B.A., Rozhdestvenskaya

T.A., Romanov A.N., Rybkina I.D., Papina T.S., L.V. IWEP SO RAN: na puti resheniya vodnykh i ekologicheskikh problem Sibiri (k 300-letiyu Rossiyskoy Akademii nauk) [Institute for Water and Environmental Problems SB RAS: Towards solving water and environmental problems of Siberia (to the 300th anniversary of the Russian Academy of sciences)] // *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2024. No. 1 (72). P. 86–102. doi: 10.24412/2410-1192-2023-17207. (in Russian).

Puzanov A.V., Bezmaternykh D.M., Ermolaeva N.I., Zinoviev A.T., Kosheleva E.D., Krasnoyarova B.A., Lovtskaya O.V., Papina T.S., Rybkina I.D., Troshkin D.N., Sharabarina S.N., Yanygina L.V. Sovremennyye vodokhozyaystvennyye i ekologicheskiye problemy basseyna Obi i prognoz sostoyaniya do 2030 goda [Modern Water Management and Environmental Problems of the Ob Basin and the Forecast of the State until 2030] // *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye* [Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management]. 2022. No. 6. P. 45–58. doi: 10.35567/19994508_2022_6_3. (in Russian).

Savichev O.G. Changes in the conditions of interaction of groundwater, river and marsh waters during swamping of the West Siberian Plain in the Holocene // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2024. Vol. 335, no 2. P. 170–186. doi: 10.18799/24131830/2024/2/4535. (in Russian).

Savichev O.G., Domarenko V.A., Vladimirova O.N., Peregudina E.V., Kenesbaev B.K. Usloviya vzaimodeystviya prirodnykh vod v predelakh Bakcharskogo rudnogo uzla (Zapadnaya Sibir') [Conditions of interaction of natural waters within the Bakchar ore cluster (Western Siberia)] // *Razvedka i okhrana neдр* [Exploration and protection of mineral resources]. 2023. No. 10. P. 61–67. doi: 10.53085/0034-026X_2023_10_61. (in Russian).

Savichev O.G., Kolokolova O.V., Zhukovskaya E.A. Sostav i ravnovesiye donnykh otlozheniy r. Tom' s rechnymi vodami [Composition and Equilibrium of Bottom Sediments of the Tom River with River Waters] // *Geoekologiya* [Geoecology]. 2003. No. 2. P. 108–119. (in Russian).

Savichev O.G., Mazurov A.K. Temporal changes in the chemical composition of waters in the eastern part of the Vasyugan swamp (Western Siberia) // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018. Vol. 329. No. 2. P. 38–48. (in Russian).

Shvartsev S.L., Ryzhenko B.N., Alekseev V.A., Dutova E.M., Kondratieva I.A., Kopylova Yu.G., Lepokurova O.E. Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda [Geological evolution and self-organization of the water-rock system]: in 5 volumes. Volume 2. Sistema voda–poroda v usloviyakh zony gipergeneza [Water-rock system under conditions of the hypergenesis zone]. Novosibirsk: SB RAS, 2007. 389 p. (in Russian).

Bazanov V.A., Berezin A.E., Savichev O.G., Skugarev A.A. The phytoindication method for mapping peatlands in the taiga zone of the West-Siberian Plain // *International Journal of Environmental Studies*. 2009. Vol. 66, no. 4. P. 473–484. doi: 10.1080/00207230903303729

Guseva N., Savichev O. Paths to Clean Water Under Rapidly Changing Environment // *BRICS Countries: Sustainable Water Resource Management and Pollution Control*. Eds. Li Y., Chaudhuri H., Corrêa Rotunno Filho O., Guseva N., Bux F. Springer, Singapore, 2024.

doi:10.1007/978-981-99-9581-3_2

Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the Earth // Geochemistry International. 2008. Vol. 46, no 13. P. 1285–1398.

Zemtsov V.A., Savichev O.G. Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research // International Journal of Environmental Studies. 2015. Vol. 72, no. 3. P. 386–396. doi: 10.1080/00207233.2015.1019299

FEATURES OF THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE AND GROUND WATERS IN THE CATCHMENT SITES OF THE VASYUGAN BOG MASSIF IN THE MURA RIVER CATCHMENT (TOMSK REGION)

O.G. Savichev, V.A. Domarenko

Tomsk polytechnic university, Tomsk,

E-mail: osavichev@mail.ru, viktor_domarenko@mail.ru

A study of intra-annual changes in the chemical composition of surface and groundwater in the Mura River catchment area (Mura-Shegarka-Ob) in 2024 was carried out, including the use of the inductively coupled plasma mass spectrometric method and thermodynamic calculations. No significant relationship was found between the parameters of groundwater (Paleogene deposits) and swamp-river waters. The indirect influence of swamp waters is manifested, but it is associated not with the direct flow of substances into groundwater from swamps, but with paleohydrological conditions and water exchange between aquifers.

Keywords: chemical composition of waters; interaction of groundwater and surface waters; Western Siberia; the Mura river.

Received October 30, 2024. Accepted: December 16, 2024

Сведения об авторах

Савичев Олег Геннадьевич – доктор географических наук, профессор отделения геологии Томского политехнического университета. Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. ORCID: 0000-0002-9561-953X. E-mail: osavichev@mail.ru.

Домаренко Виктор Алексеевич – кандидат геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: viktor_domarenko@mail.ru.

Information about the authors

Savichev Oleg Gennadievich – Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Geology Department of Tomsk Polytechnic University. Russia, 634050, Tomsk, Lenin Ave., 30. ORCID: 0000-0002-9561-953X. E-mail: osavichev@mail.ru.

Domarenko Viktor Alekseevich – PhD of Geological and Mineralogical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Ave., 30. E-mail: viktor_domarenko@mail.ru.

УДК 551.326.83 :556.3 + 621.396.96(571.56)

ОЦЕНКА ЗАТОРНОЙ ОПАСНОСТИ НА УЧАСТКЕ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЛЕНА ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ И ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫМ ДАННЫМ

М.П. Фёдоров¹, Н.И. Тананаев^{2,3}¹Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск,²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск,³Институт мерзлотоведения им. М.И. Мельникова СО РАН, Якутск,

E-mail: mpfedoroff@gmail.com, nikita.tananaev@gmail.com

В статье представлены результаты исследования уровня и ледового режима среднего течения реки Лена с 2008 г. по 2020 г. на участке от Табагинского мыса до Кангаласского мыса. Проведён обзор материалов георадиолокационных исследований ледяного покрова реки Лена с борта воздушного судна. На основе анализа гидрологических и георадиолокационных данных установлен комплекс факторов, способствующих определению заторной опасности на исследуемом участке реки: водность предшествующего периода, распределение уклонов водной поверхности, наличие ледяного покрова торосового строения и повышенной толщины.

Ключевые слова: река Лена; уровень воды; толщина льда; строение ледяного покрова реки, георадиолокация.

DOI:10.24412/2410-1192-2025-17604

Дата поступления: 20.12.2024. Принята к печати: 21.02.2025

Северные реки, протекающие с юга на север по территории России, Канады и США, в зимний период покрываются льдом. Населённые пункты, расположенные вблизи этих рек, подвержены риску возникновения опасных ледовых явлений. Наиболее опасным явлением считается ледовый затор, характеризующийся резким повышением уровня воды в реке. При достижении критического подъёма уровня происходит затопление территорий и разрушение инфраструктуры населённых пунктов. Хотя наводнения кратковременны, они наносят значительный ущерб, который оценивается в миллиарды рублей. Суммарный ущерб, нанесённый экономике Республики Саха

(Якутия) за 1998–2022 гг., составил примерно 46.8 млрд. руб. [Тананаев, 2023].

Систематические наблюдения за ледовым режимом рек России осложнены большой трудоёмкостью полевых наблюдений в сложных погодных условиях. Ограниченное количество пунктов наблюдений приводит к необходимости поиска других источников информации о толщине льда и характеристиках ледяного покрова. В существующей системе наблюдений отсутствует инструмент для оперативного сбора и выдачи информации о толщине льда в периоды, когда выход на лёд и прямые измерения невозможны, или на протяжённых участках рек.

Результаты исследований формирования ледовых заторов на реках освещены в отечественных работах [Донченко, 1987; Бузин и др., 2009; Козлов и др., 2015]. В зарубежных трудах всесторонне изучены различные аспекты процессов образования ледовых заторов на реках Канады и США [Beltaos, 1995; Beltaos, 2008; White et al., 1996; White et al., 2006]. В публикации [Агафонова и др., 2016] изложены результаты исследования разных фаз ледового режима и его опасных проявлений на реках бассейна Северной Двины. В статье [Кильмянинов, 2012] представлены результаты анализа наблюдений за расходами, уровнями воды и ледовыми явлениями в среднем течении р. Лена. В многочисленных публикациях описаны ключевые условия, способствующие образованию заторов.

Толщина и строения ледяного покрова рек являются ключевым фактором, влияющим на возникновение и уровень заторной опасности. Для определения этих характеристик широко используются не прямые методы. В публикациях [Finlay et al., 2008; Kämäri et al., 2017; Stuefer, Richards, 2021] изложены результаты применения метода георадиолокации для измерения толщины льда на реках. Разработана методика георадиолокационных исследований, обеспечивающая определение основных типов строения ледяного покрова реки Лена [Фёдоров, 2022; Fedorov, Fedorova, 2022]. Преимуществом метода является непрерывное профилирование протяжённых участков, оперативность исследований с помощью воздушного судна и получение данных георадиолокации в режиме реального времени. Результаты, получаемые георадиолока-

ционным исследованием ледяного покрова рек, могут быть использованы в качестве дополнительной информации для анализа заторной опасности на участках реки.

Целью работы является установление факторов, влияющих на возникновение заторной опасности на участке среднего течения реки Лена в районе г. Якутск, на основе анализа гидрологических и георадиолокационных данных. В целях обеспечения безопасности населения и защиты инфраструктуры от чрезвычайных ситуаций в период весеннего половодья необходимо располагать информацией о заторной опасности на участках реки.

Материалы и методы

Исследуемый район находится в среднем течении р. Лены, в широкой долине Туймаада, в которой расположен г. Якутск. Протяжённость исследуемого участка составила примерно 80 км. Средняя минимальная температура воздуха в районе г. Якутска с ноября по февраль варьирует от -38°C до -42°C . С марта по апрель средняя минимальная температура воздуха снижается с -27°C до -12°C . Ледообразование на реке Лена обычно начинается в октябре и быстро распространяется по всей длине реки. Процесс замерзания реки завершается установлением ледостава в первой декаде ноября [Климат Якутска, 1982]. Ледяной покров в период ледостава характеризуется различным строением и толщиной льда. Толщина льда на реке Лена в период ледостава интенсивно увеличивается и достигает максимальных значений в апреле.

Основные условия, влияющие на формирование ледовых заторов: повышенная

толщина льда; неразрушенный ледяной покров на пути весеннего половодья; перелом продольного профиля водной поверхности; сочетание нескольких видов русловых препятствий, например, крутой поворот с сужением русла и наличие островов, падение уклона [Донченко, 1987; Козлов и др., 2015]. Многие условия наблюдаются ежегодно, но сами ледовые заторы формируются не всегда.

На формирование ледовых явлений на реках оказывает гидрологический режим летне-осеннего периода. Использованы характеристики, способствующие повышению заблаговременности прогноза заторной опасности, особенно к предледоставному периоду. К характеристикам водного режима относятся уровень воды, скорость течения, расход воды, уклон водной поверхности. В частности, уровень воды определяет формирование и динамику ледяного покрова рек. Анализ уровня воды выполнен по данным АИС ГМВО с 2008 г. по 2020 г. на трёх гидрологических постах Табага, Якутск и Кангалассы. По данным уровня воды летне-осеннего сезона произведён расчёт суммарных и средних значений уровня воды. По средним значениям выполнена сортировка суммарных значений уровня воды по группам водности. Нормальное распределение данных было проверено тестом Шапиро-Уилка. Наличие признака нормальности данных позволило применить тест Уэлча для оценки статистической значимости разницы средних значений.

Проанализированы архивные данные об уровне воды в предледоставный период и конце ледостава. Были определены клю-

чевые показатели: опорное значение предледоставного уровня воды и минимальное значение уровня воды в конце ледостава. Для определения влияния уровня воды на толщину льда, а также верификации установленных значений уровня воды был применён способ расчёта толщины льда. Способ основан на использовании эмпирического уравнения, которое описывает зависимость максимальной толщины льда $h_{\text{л}}$ от величины зимнего падения уровня воды $\Delta H_{\text{зн}}$ [Тананаев, 2004]:

$$h_{\text{л}} = \frac{(1 - A) \times \Delta H_{\text{зн}}}{A}, \quad (1)$$

где A – региональный параметр расположения временного пункта измерений.

Зимнее падение уровня воды $\Delta H_{\text{зн}}$ представляет собой разницу между значениями опорного предледоставного уровня воды $H_{\text{оп}}$ и минимального уровня воды в конце ледостава $H_{\text{мин}}$:

$$\Delta H_{\text{зн}} = H_{\text{оп}} - H_{\text{мин}}. \quad (2)$$

Расчёт регионального параметра A с учётом коэффициентов для гидрологических постов:

$$A = C \times \ln(\Delta H_{\text{зн}}) + D, \quad (3)$$

где коэффициенты C и D учитывают географическое расположение гидрологических постов и их влияние на региональный параметр.

При определении уклона водной поверхности использованы опорные значения предледоставного уровня воды и минимальные значения уровня воды в конце ледостава реки на гидрологических постах. Выполнено преобразование показателей уровня воды из местной системы высот в Балтийскую систему для дальнейшего анализа и построения графика изменения уклона.

Определение факторов, влияющих на заторную опасность на участке реки, выполнено по следующему алгоритму:

1. Применение относительной балльной оценки гидрологических данных по следующему условию, представленному в таблице 1.

2. Суммирование и сортирование полученных баллов по группам водности реки в зависимости от наличия и отсутствия заторной опасности на гидрологических постах;

3. Формирование матрицы взаимного распределения суммированных баллов по категориям, представленной в таблице 2 [Кобзарь, 2006].

В таблице 2 представлены следующие обозначения: a_{11} – количество баллов при заторной опасности в половодье; a_{12} – количество баллов при заторной опасности в маловодье; a_{21} – количество баллов при

отсутствии заторной опасности в половодье; a_{22} – количество баллов при отсутствии заторной опасности в маловодье; a_{01} – сумма баллов в период половодья; a_{02} – сумма баллов в период маловодья; a_{10} – сумма баллов при заторной опасности; a_{20} – сумма баллов при отсутствии заторной опасности; a_{00} – общий итог всех баллов.

4. Определение связи гидрологических данных с заторной опасностью посредством корреляционного анализа на основе коэффициентов ассоциации (Q) и контингенции (V) [Кобзарь, 2006].

Коэффициент ассоциации определяется по следующему выражению:

$$Q = \frac{a_{11} \times a_{22} - a_{12} \times a_{21}}{a_{11} \times a_{22} + a_{12} \times a_{21}}. \quad (4)$$

В случае нулевого значения по баллам не применяется коэффициент ассоциации, вместо него используется коэффициент контингенции:

$$V = \frac{a_{11} \times a_{22} - a_{12} \times a_{21}}{\sqrt{(a_{11} + a_{12}) \times (a_{11} + a_{21}) \times (a_{22} + a_{12}) \times (a_{22} + a_{21})}} \quad (5)$$

Таблица 1

Условия оценки гидрологических данных на участке реки

Table 1

Conditions of hydrological data assessment in the river section

Наименование	1 балл	2 балла
Суммарный уровень воды летней межени*	$\Sigma H_{ур.} < \Sigma H_{ср.ур.}$	$\Sigma H_{ур.} > \Sigma H_{ср.ур.}$
Опорный преддоставный уровень воды	$H_{оп.} < H_{оп.ср.}$	$H_{оп.} > H_{оп.ср.}$
Распределение уклонов в конце ледостава	$I < -0.06\%$	$I > -0.06\%$
Толщина льда	$h_{бур.} < 1.5 \text{ м}$	$h_{бур.} > 1.5 \text{ м}$
Ледовый затор (Лз)	Отсутствие	Наличие

*сумма высших значений уровня воды на гидропосту с июля по сентябрь

Величины коэффициентов ассоциации и контингенции варьируют в промежутке от -1 до 1 . Если значение коэффициента равно 0 , то связь с факторами отсутствует. При значении коэффициента ± 1 , то связь с

факторами полная. Величина коэффициента, характеризующего как показателя связи, интерпретируется аналогично величине коэффициента корреляции [Котеров и др., 2019].

Таблица 2

Матрица взаимного распределения суммированных баллов

Table 2

Matrix of mutual distribution of summarised scores

Категория	Полноводье	Маловодье	Всего
Наличие заторной опасности	a_{11}	a_{12}	a_{10}
Отсутствие заторной опасности	a_{21}	a_{22}	a_{20}
Всего	a_{01}	a_{02}	a_{00}

Результаты и обсуждение

По результатам обзора материалов георадиолокационных исследований ледяного покрова реки Лена с борта воздушного судна представлены гистограммы толщины льда на участке от Табагинского мыса до Кангаласского мыса в 2013 г. и 2018 г. (рис. 1) [Фёдоров, 2022]. В эти годы были зафиксированы случаи ледовых заторов. На представленных гистограммах участков Табага – Якутск (рис. 1а) и Якутск – Кангалассы (рис. 1б) в 2013 г. наблюдается количественное преобладание значений повышенной толщины льда в диапазоне 150–200 см. На всем протяжении участка прослеживается ледяной покров повышенной толщины льда и торосового строения.

Гистограмма участка Табага – Якутск в 2018 г. (рис. 1в) показывает, что значения толщины льда в диапазоне 100–150 см составляют 50% от общего числа точек измерений. При этом значения повышенной толщины льда в диапазоне 150–200 см составляют 40%. На данном участке преимущественно торосовый лёд. На гистограмме (рис. 1г) участка Якутск – Кангалассы в 2018 г. отмечается преобладание значений толщины льда в диапазоне 100–150 см на 60%, а значения повышенной толщины льда в диапазоне 150–200 см – 30%. В

этом участке наблюдается двукратное преобладание торосового льда над монолитным льдом. По результатам исследований в 2018 г. выявлено наличие трёх участков ледяного покрова повышенной толщины 150–250 см в районе села Табага, гидрологического поста Якутск, посёлка городского типа Жатай и села Тулагино.

По формулам (1), (2), (3) выполнены расчёты значений толщины льда с учётом регионального параметра для гидрологических постов Табага ($C=0.22$, $D=0.44$), Якутск ($C=0.28$, $D=0.42$) и Кангалассы ($C=0.2$, $D=0.46$). В таблице 3 представлены результаты для гидрологического поста Табага. Расчётные значения толщины льда были сопоставлены с данными гидрологических постов Табага, Якутск и Кангалассы, что позволило оценить погрешность расчётов. Относительная погрешность варьирует от -26% до +27% в зависимости от года. Средняя погрешность составляет не более 3%, расчётные данные близки к инструментальным. Результаты расчётов толщины льда показали хорошую согласованность с установленными значениями опорного предледоставного уровня воды и минимального уровня воды в конце ледостава. Эти данные необходимы для анализа факторов, влияющих на заторную опасность участка реки.

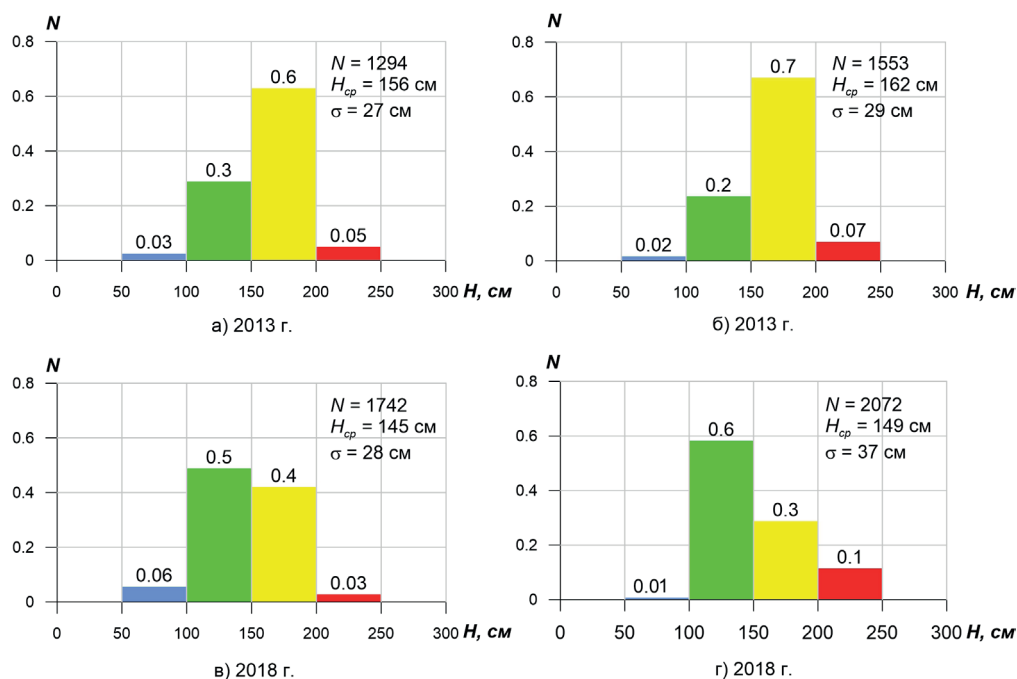


Рис. 1. Гистограммы распределения толщины ледяного покрова р. Лена на участке Табага – Якутск (а, в) и Якутск – Кангалассы (б, г)

Fig. 1. Histograms of the Lena River ice cover thickness distribution at the section Tabaga – Yakutsk (a, c) and Yakutsk – Kangelassy (b, d)

Результат анализа данных уклонов второе положение уклона. Третье положение уклона представляют данные за 2010 г., водной поверхности до ледовых явлений представлено на рис. 2а. Данные за 2008 г., 2013 г., 2016 г., 2019 г. Четвёртое положение уклона представляют данные за 2015 г. Снижение уровня воды до конца ледостава составило 2009 г. и 2012 г. отражены в первом положении уклона. Данные 2011 г., 2014 г., 2017 г., 2018 г. и 2020 г. демонстрируют в среднем 2 м.

Таблица 3

Расчётные значения толщины льда с учётом гидрологических данных за 2008–2020 гг. в районе гидрологического поста Табага

Table 3

Estimated values of ice thickness taking into account hydrological data for 2008–2020 in the area of the Tabaga hydrological post

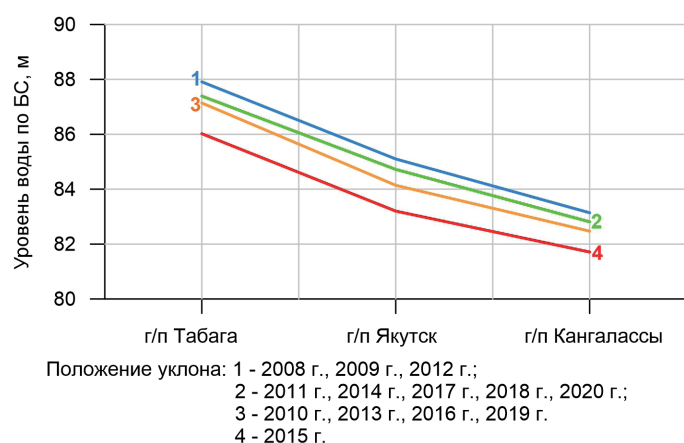
Год	$H_{\text{он.}}, \text{ м}$	$H_{\text{мин.}}, \text{ м}$	$\Delta H_{\text{зн.}}, \text{ м}$	A	$h_{\text{л.расч.}}, \text{ м}$	$h_{\text{бур.}}, \text{ м}$	$\Delta h, \text{ м}$	$\delta, \%$
2008/2009	2.61	0.90	1.71	0.56	1.35	1.68	0.33	19
2009/2010	2.78	0.82	1.96	0.59	1.37	1.56	0.19	12
2010/2011	2.09	0.63	1.46	0.52	1.33	1.18	-0.15	-13
2011/2012	2.84	0.57	2.27	0.62	1.39	1.23	-0.16	-13
2012/2013	2.49	0.75	1.74	0.56	1.36	1.45	0.09	6
2013/2014	1.78	0.50	1.28	0.49	1.31	1.36	0.05	4
2014/2015	1.99	0.36	1.63	0.55	1.35	1.18	-0.17	-14
2015/2016	1.10	0.31	1.38	0.51	1.32	1.20	-0.12	-10
2016/2017	1.44	0.44	1.64	0.55	1.35	1.33	-0.02	-1
2017/2018	2.19	0.75	1.44	0.52	1.33	1.45	0.12	8
2018/2019	2.17	0.63	1.54	0.53	1.34	1.48	0.14	10
2019/2020	1.24	0.43	1.63	0.55	1.35	1.07	-0.28	-26

На рис. 2б представлен уклон водной поверхности в конце ледостава. Данные первого положения за 2009–2010 гг. показывают линейный спад. Данные второго положения (2012 г., 2013 г.), третьего положения (2011 г., 2018 г.) и четвёртого положения (2014–2016 гг., 2017 г., 2019–2020 гг.) демонстрируют последовательность падения. Падение реки на участке Табага – Якутск составило 3.2 м, а на участке Якутск – Кангалассы – 1.3 м. Большинство зафиксированных ледовых заторов наблюдалось в положениях 2, 3 и 4.

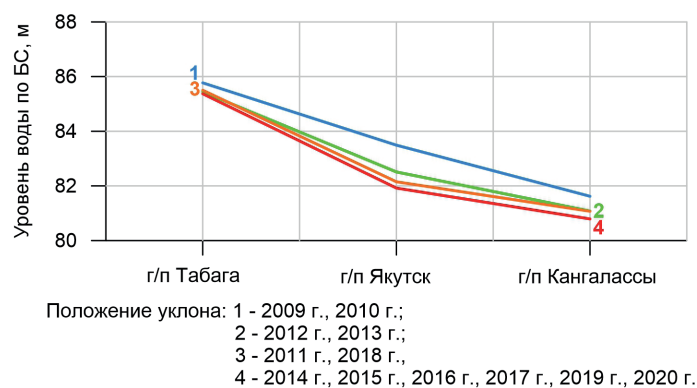
В таблице 4 представлены результаты анализа данных гидрологического поста Табага, которые распределены по группам водности реки. Распределение рядов данных

в обеих группах соответствуют нормальному (тест Шапиро-Уилка, $p > 0.05$). Разница средних в двух группах водности статистически значима (тест Уэлча, $p < 0.03$).

На рис. 3 представлены графики, отражающие водность реки за период 2008–2020 гг. на трёх гидрологических постах. На графиках прослеживаются линии тренда – маловодья и полноводья. Показано влияние установленных опорных значений предледоставного уровня воды на толщину льда в зависимости от водности реки. При полноводье наблюдаются высокие значения толщины льда в зависимости от опорных значений предледоставного уровня воды. В условиях маловодья отмечаются низкие значения толщины льда.



а)



б)

Рис. 2. Распределение уклонов водной поверхности до ледовых явлений (а) и в конце ледостава (б) на исследуемом участке реки Лена

Fig. 2. Distribution of water surface gradients before ice events (a) and at the end of ice formation in the studied section of the Lena River

Таблица 4

Водность реки Лена по данным гидрологического поста Табага

Table 4

Water content of the Lena River according to the data of the Tabaga hydrological post

Водность реки	Год	$\Sigma H_{yp}, \text{ см}$	$H_{он}, \text{ см}$	$h_{бур}, \text{ м}$	$I, \text{ ‰}$
Маловодье (М)	2010/2011	1662	209	1.18	-0.059
	2011/2012	1471	284	1.23	-0.082
	2014/2015	1443	199	1.18	-0.084
	2015/2016	1204	110	1.20	-0.081
	2019/2020	1140	124	1.07	-0.085
Средние значения		1384	185	1.17	-0.078
Полноводье (П)	2008/2009	1956	261	1.68	-0.069
	2009/2010	1837	278	1.56	-0.056
	2012/2013	2128	249	1.45	-0.071
	2013/2014	1988	178	1.36	-0.078
	2016/2017	1997	144	1.33	-0.084
	2017/2018	1909	219	1.45	-0.085
	2018/2019	1792	217	1.48	-0.083
Средние значения		1944	221	1.47	-0.075

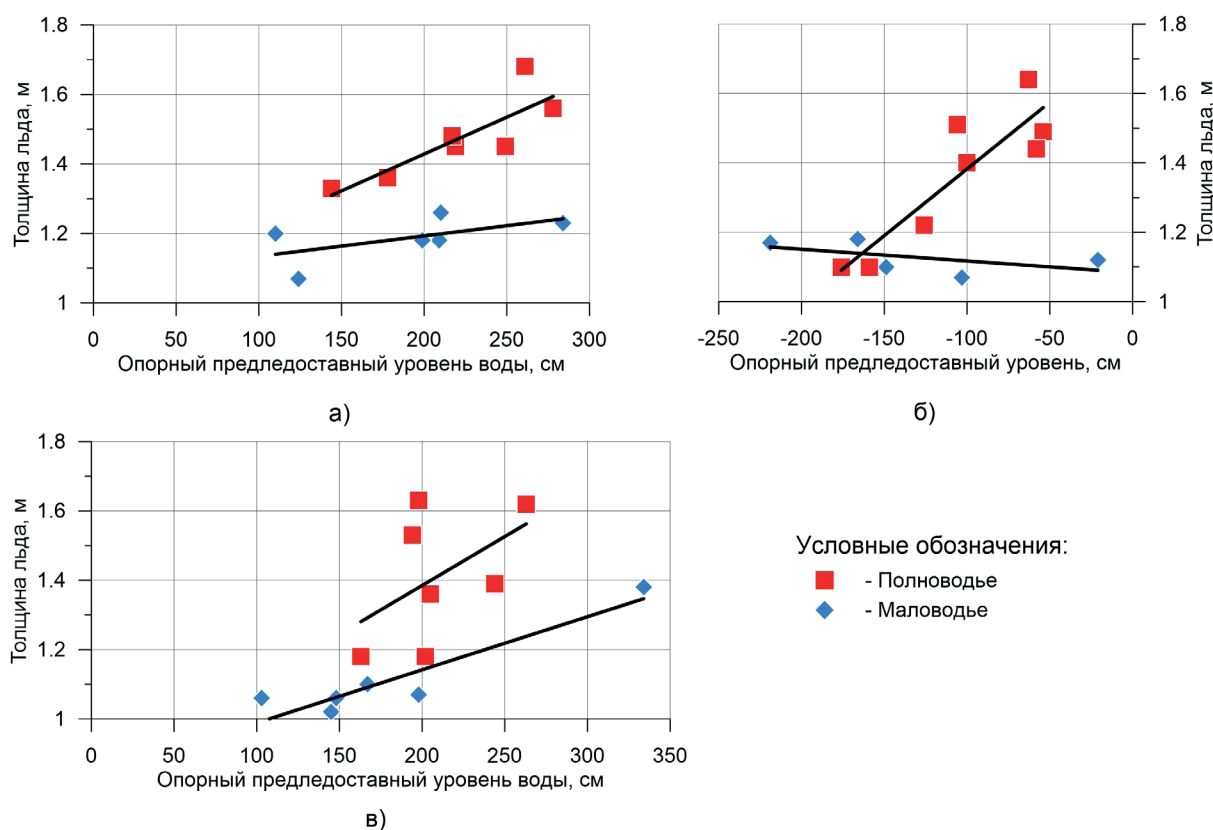


Рис. 3. Толщина льда в зависимости от опорного предледоставного уровня воды реки Лена по данным гидрологических постов Табага (а), Якутск (б) и Кангалассы (в)
 Fig. 3. Ice thickness depending on the reference pre-summer water level of the Lena River according to the data of hydrological posts Tabaga (a), Yakutsk (b) and Kangalassy (c)

В соответствии с данными таблицы 4 был применён алгоритм для определения факторов, влияющих на заторную опасность на гидрологических постах. Результаты относительной оценки гидрологических данных поста Табага за рассмотренные года, а также суммы баллов приведены в таблице 5. Для Табаги имеем следующие значения: $a_{11} = 25$; $a_{12} = 29$; $a_{21} = 6$; $a_{22} = 20$, которые отражены в сформированной матрице (таблица 6). В таблицах 7 и 8 представлены матрицы взаимного распределения суммированных баллов по категориям для гидрологических постов Якутск и Кангалассы.

По данным таблиц 6, 7, 8 с использованием формул (4) и (5) были получены расчётные значения коэффициента ассоциации 0.5 и -0.6 для гидрологических постов Табага, Якутск соответственно. Для гидрологического поста Кангалассы коэффициент контингенции составил 0.6. Согласно источнику [Котеров и др., 2019] по-

лученные значения указывают на наличие средней связи гидрологических данных с заторной опасностью. Установленная связь позволила выявить сочетание таких факторов, как водность предшествующего периода, опорный предледоставный уровень воды и распределение уклонов водной поверхности, влияющих на возникновение заторной опасности на участке реки. По данным георадиолокации можно выявить местоположение участков ледяного покрова повышенной толщины и торосового строения. На основе полученных гидрологических и георадиолокационных данных можно установить вероятность возникновения заторной опасности и вероятное пространственное положение головы затора на участке реки. Скорее всего, оно соответствует не участку с наибольшей толщиной льда и перегибу продольного профиля реки, а отстоит от него на некоторое расстояние (следующий затороопасный участок: сужение русла с увеличением глубины потока, резкий изгиб меженного русла).

Таблица 5

Результаты оценки данных гидрологического поста Табага

Table 5

Results of evaluation of the Tabaga hydrological station data

Период	$\Sigma H_{ур.}$	$H_{оп.}$	$h_{бур.}$	I	Лз	Полноводье (отсутств. Лз)	Маловодье (отсутств. Лз)	Полноводье (нал. Лз)	Маловодье (нал. Лз)
2008/2009	2	2	2	2	1	9	0	0	0
2009/2010	2	2	2	2	2	0	0	10	0
2010/2011	1	2	1	1	1	0	6	0	0
2011/2012	1	2	1	1	1	0	6	0	0
2012/2013	2	2	1	1	1	7	0	0	0
2013/2014	2	1	1	1	2	0	0	7	0
2014/2015	1	1	1	1	2	0	0	0	6
2015/2016	1	1	1	1	1	0	5	0	0
2016/2017	2	1	1	1	1	6	0	0	0
2017/2018	2	2	1	1	2	0	0	8	0
2018/2019	2	2	1	1	1	7	0	0	0
2019/2020	1	2	1	1	1	0	3	0	0
Сумма						29	20	25	6

Таблица 6

Заторная опасность в зависимости от водности реки Лена
в районе гидрологического поста Табага

Table 6

Congestion hazard depending on water content of the Lena River
in the area of the Tabaga hydrological post

Категория	Полноводье	Маловодье	Всего
Наличие заторной опасности	25	6	31
Отсутствие заторной опасности	29	20	49
Всего	54	26	80

Таблица 7

Заторная опасность в зависимости от водности реки Лена
в районе гидрологического поста Якутск

Table 7

Congestion hazard depending on water content of the Lena River
in the area of Yakutsk hydrological post

Категория	Полноводье	Маловодье	Всего
Наличие заторной опасности	9	13	22
Отсутствие заторной опасности	43	16	59
Всего	52	29	81

Таблица 8

Заторная опасность в зависимости от водности реки Лена
в районе гидрологического поста Кангалассы

Table 8

Congestion hazard depending on water content of the Lena River
in the area of Kangalassy hydrological post

Категория	Полноводье	Маловодье	Всего
Наличие заторной опасности	38	0	38
Отсутствие заторной опасности	23	32	55
Всего	61	32	93

Заклучение

По результатам анализа гидрологических и георадиолокационных данных установлено, что весной 2009, 2010, 2013, 2018 годах на постах Табага, Якутск и Кангалассы наблюдались случаи ледовых заторов при сочетании определённых факторов: высокая водность предшествующего периода, распределение уклонов водной поверхности (-0.05%), наличие ледяного покрова торосового строения и повышенной

толщины льда (150–250 см). По установленным факторам и данным о толщине и типе строения ледяного покрова реки можно установить вероятность возникновения заторной опасности и его пространственное положение на участке реки.

Информация о заторной опасности на участках реки позволит составить схему прохождения весеннего половодья, а также уточнить мероприятия по обеспечению безопасности населения и защите критической инфраструктуры.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проектам № 122011800086-1, № 122012400106-7 и по приоритетным направлениям Программы развития СВФУ им. М. К. Аммосова на 2024 и 2025 гг.

Список литературы

Агафонова С.А., Василенко А.Н., Фролова Н.Л. Факторы образования ледовых заторов на реках бассейна Северной Двины в современных условиях // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. № 2. С. 82–90.

Бужин В.А., Зиновьев А.Т. Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах. Методы математического моделирования и опыт их реализации для практических целей (обзор современного состояния проблемы): монография. Барнаул: ООО Пять плюс, 2009. 168 с.

Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 248 с.

Климат Якутска / Ред. Ц.А. Швер, С.А. Изюменко. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 246 с.

Кильмянинов В.В. Влияние метеорологических условий перед началом ледохода на масштаб заторных наводнений на р. Лене // Метеорология и гидрология. 2012. № 4. С. 86–89.

Козлов Д.В., Бужин В.А., Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Бабурин В.Л., Банщикова Л.С., Горошкова Н.И., Завадский А.С., Крыленко И.Н., Савельев К.Л., Козлов К.Д., Бузина Л.Ф. Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России: монография. М.: РГАУМСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. 348 с.

Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.

Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., Калинина М.В., Бирюков А.П., Ласточкина Е.М., Молодцова Д.В., Вайнсон А.А. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64, № 6. С. 12–24.

Тананаев Н.И. Сезонное и многолетнее промерзание русел рек криолитозоны и его влияние на русловые деформации // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Геогр. факультет МГУ, 2004. С. 195–201.

Тананаев Н.И. В Якутии суммарный ущерб от наводнений оценили в 46.8 млрд. рублей // ТАСС. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/obshchestvo/17209059> (дата обращения: 21.02.2025).

Фёдоров М.П. Методика георадиолокационных исследований ледяного покрова р. Лена на участке Табагинский мыс-Кангаласский мыс // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 5. С. 18–32.

Beltaos S. River ice jams. Water Resources Publication, 1995. 372 p.

Beltaos S. Progress in the study and management of river ice jams // *Cold Regions Science and Technology*. 2008. V. 51. Is.1. P. 2–19.

Finlay P.I., Parry N.S., Proskin S.A., Mickle R.J. An overview of ice profiling using ground penetrating radar (GPR) // *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*. 2008. P. 461–470.

Fedorov M.P., Fedorova L.L. Identification of River Ice Cover Structure by Ground Penetrating Radar Data // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2022. Vol. 19 [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9966564> (дата обращения: 21.02.2025).

Kämäri M., Alho P., Colpaert A., Lotsari E. Spatial variation of river-ice thickness in a meandering river // *Cold Regions Science and Technology*. 2017. 137. P. 17–29.

Stuefer S., Richards E. River ice measurements for transportation safety in rural communities // *ROSAP*. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/58696> (дата обращения: 21.02.2025).

White K.D., Roger L.K. Ice jam flooding and mitigation, Lower Platte River Basin, Nebraska. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1996. 88 p.

White K.D., Tuthill A.M., Furman L. Studies of ice jam flooding in the United States // *Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security*. 2006. Vol.78. P. 255–268.

References

Agafonova S.A., Vasilenko A.N., Frolova N.L. Faktory obrazovaniya ledovykh zatorov na rekakh basseina Severnoi Dviny v sovremennykh usloviyakh [Factors of ice jam formation on the rivers of the Northern Dvina basin in modern conditions] // *Vestnik Moskovskogo universiteta [Bulletin of Moscow University]. Seriya 5. Geografiya*. 2016. No 2. P. 82–90 (in Russian).

Buzin V.A., Zinov'ev A.T. Ledovye protsessy i yavleniya na rekakh i vodokhranilishchakh. Metody matematicheskogo modelirovaniya i opyt ikh realizatsii dlya prakticheskikh tselei (obzor sovremennogo sostoyaniya problemy) [Ice processes and phenomena on rivers and reservoirs. Methods of mathematical modeling and experience of their implementation for practical purposes (review of the current state of the problem)] : monografiya. Barnaul: OOO Pyat plyus, 2009. 168 p. (in Russian).

Donchenko R.V. Ledovyi rezhim rek SSSR [Ice regime of the rivers of the USSR]. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 248 p. (in Russian).

Klimat Yakutsk [Climate of Yakutsk] / Eds. C.A. Shver, S.A. Izyumenko. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 246 p. (in Russian).

Kilmyaninov V.V. Vliyanie meteorologicheskikh uslovii pered nachalom ledokhoda na masshtab zatornykh navodnenii na r. Lene [Influence of meteorological conditions before the onset of ice drift on the scale of jam floods on the Lena River] // *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]*. 2012. No 4. P. 86–89. (in Russian).

Kozlov D.V., Buzin V.A., Frolova N.L., Agafonova S.A., Baburin V.L., Banshchikova L.S., Goroshkova N.I., Zavadskii A.S., Krylenko I.N., Savel'ev K.L., Kozlov K.D., Buzina L.F. Opasnye ledovye yavleniya na rekakh i vodokhranilishchakh Rossii: monografiya [Dangerous

ice phenomena on Russian rivers and reservoirs]. M.: RGAUMSKHA imeni K.A. Timiryazeva, 2015. 348 p. (in Russian).

Kobzar A.I. Prikladnaja matematicheskaja statistika. Dlja inzhenerov i nauchnyh rabotnikov [Applied mathematical statistics. For engineers and researchers]. M.: FIZMATLIT, 2006. 816 p. (in Russian).

Koterov A.N., Ushenkova L.N., Zubenkova Je.S., Kalinina M.V., Birjukov A.P., Lastochkina E.M., Molodcova D.V., Vajnsen A.A. Sila svjazi. Soobshhenie 2. Gradacii velichiny korrelyacii [The power of communication. Message 2. Gradations of the correlation value] // Medicinskaja radiologija i radiacionnaja bezopasnost [Medical radiology and radiation safety]. 2019. Vol. 64, no 6. P. 12–24. (in Russian).

Tananaev N.I. Sezonnoe i mnogoletnee promerzanie rusel rek kriolitozony i ego vliyanie na ruslovyje deformatsii [Seasonal and perennial freezing of cryolithozone river channels and its influence on channel deformations] // Ehrozionnye, ruslovyje protsessy i problemy gidroekologii [Erosion, channel processes and hydroecological problems]. M.: Geogr. fakultet MGU, 2004. P. 195–201. (in Russian).

Tananaev N.I. V Yakutii summarnyi ushcherb ot navodnenii otsenili v 46.8 mlrd. Rublei [In Yakutia, the total damage from floods was estimated at 46.8 billion rubles] // TASS. 2023. URL: <https://tass.ru/obschestvo/17209059> (accessed: 21.02.2025). (in Russian).

Fedorov M.P. Metodika georadiolokatsionnykh issledovanii ledyanogo pokrova r. Lena na uchastke Tabaginskii mys-Kangalasskii mys [Methodology of georadiolocation studies of the Lena River ice cover in the Tabaginsky cape-Kangalassky cape section] // Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water economy of Russia: problems, technologies, management]. 2022. No 5. P. 18–32. (in Russian).

Beltaos S. River ice jams. Water Resources Publication, 1995. 372 p.

Beltaos S. Progress in the study and management of river ice jams // Cold Regions Science and Technology. 2008. Vol. 51. Is.1. P. 2–19.

Finlay P.I., Parry N.S., Proskin S.A., Mickle R.J. An overview of ice profiling using ground penetrating radar (GPR) // Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. 2008. P. 461–470.

Fedorov M.P., Fedorova L.L. Identification of River Ice Cover Structure by Ground Penetrating Radar Data // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2022. Vol. 19. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9966564> (accessed: 21.02.2025).

Kämäri M., Alho P., Colpaert A., Lotsari E. Spatial variation of river-ice thickness in a meandering river // Cold Regions Science and Technology. 2017. 137. P. 17–29.

Stuefer S., Richards E. River ice measurements for transportation safety in rural communities // ROSAP. 2021. URL: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/58696> (accessed: 21.02.2025).

White K.D., Roger L.K. Ice jam flooding and mitigation, Lower Platte River Basin, Nebraska. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1996. 88 p.

White K.D., Tuthill A.M., Furman L. Studies of ice jam flooding in the United States // Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security. 2006. Vol.78. P. 255–268.

ASSESSMENT OF ICE HAZARD IN THE MIDDLE LENA RIVER USING HYDROLOGICAL AND GPR DATA

M.P. Fedorov¹, N.I. Tananaev^{2,3}

¹Mining Institute of the North Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Yakutsk,

²North-Eastern Federal University, Yakutsk,

³Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Yakutsk,

E-mail: mpfedoroff@gmail.com, nikita.tananaev@gmail.com

The article presents the results of a study of the water stage and ice regime of the middle Lena River from 2008 to 2020 in the area from Tabaginsky Cape to Kangalassky Cape. A review of the materials of GPR studies of the Lena River ice cover from an aircraft has been conducted. Based on the analysis of hydrological and GPR data, a set of factors contributing to the determination of congestion hazards in the studied section of the river has been established: the water content of the previous period, the distribution of slopes of the water surface, the presence of areas of hummock ice cover and increased thickness.

Ключевые слова: Lena River; water level; ice thickness; structure of the river's ice cover; ground-penetrating radar (GPR).

Received December 20, 2024. Accepted: February 21, 2025

Сведения об авторах

Фёдоров Максим Петрович – научный сотрудник лаборатории георадиолокации Института горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. Россия, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43. ORCID: 0000-0001-6722-2861. E-mail: mpfedoroff@gmail.com.

Тананаев Никита Иванович – кандидат географических наук; заведующий лабораторией по изучению климата и экосистем северных регионов, доцент Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Россия, 677013, г. Якутск, ул. Кулаковского, 46. Ведущий научный сотрудник лаборатории подземных вод и геохимии криолитозоны Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Россия, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36. ORCID: 0000-0003-2997-0169. E-mail: nikita.tananaev@gmail.com.

Information about the authors

Fedorov Maksim Petrovich – Research scientist of the GPR laboratory Mining Institute of the North Siberian Branch Russian Academy of Sciences. 43, Lenin Av., 677980 Yakutsk, Russia. ORCID: 0000-0001-6722-2861. E-mail: mpfedoroff@gmail.com

Tananaev Nikita Ivanovich – PhD of Geographical Sciences; Head of the Laboratory for the Study of Climate and Ecosystems of the northern regions, Associate Professor, North-Eastern Federal University. 46, Kulakovsky St., 677013 Yakutsk, Russia. Leading Research Scientist at the Laboratory of Permafrost Groundwater and Geochemistry Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch Russian Academy of Science. 36, Merzlotnaya St., 677010 Yakutsk, Russia. ORCID: 0000-0003-2997-0169. E-mail: nikita.tananaev@gmail.com.

УДК 502.7 + 577.4

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ В ТЕЛЕЦКОМ ОЗЕРЕ

А.А. Цхай^{1,2}, М.А. Романов²¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,² Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул,

E-mail: tskhai@iwep.ru

Объектом исследования является Телецкое озеро (ТО). Целью исследования является оценка гидрологических особенностей удержания кремния (Si) как результата накопления, трансформации и ассимиляции этого элемента в экосистеме ТО. Из-за низкой температуры воды в течение всего года ТО отличается малым ресурсом самоочищения, что подтверждают расчеты. Приведено кинетическое уравнение для кремния и вычислены предварительные значения коэффициентов удержания и скорости трансформации соединений Si в поверхностных водах ТО. Оценены величины суммарной ассимиляции, допустимой нагрузки и допустимой концентрации кремния в воде Телецкого озера.

Ключевые слова: кремний; гидрология; лимнология; трансформация; ассимиляция; модель; Телецкое озеро.

DOI:10.24412/2410-1192-2025-17605

Дата поступления: 27.01.2025. Принята к печати: 28.02.2025

Объектом исследования является концентрация кремния, необходимая Телецкое озеро, как и в предшествующих работах сотрудников ИВЭП СО РАН (например, [Зарубина и др., 2005; Puzanov et al, 2020]).

Как известно, содержание биогенных элементов, является лимитирующим фактором жизнедеятельности и развития водных экосистем. Одним из самых распространенных биогенных элементов в природе является кремний, содержание которого в литосфере составляет около 30% [Мокиенко, 2020]. Больше всего в природе силикатов и алюмосиликатов, на их долю приходится порядка 80% массы земной коры [Рыжаков и др., 2019].

Кремний участвует в построении тканей диатомовых водорослей. Минимальная

для их роста, 0.2 г/м³ [Офицеров, 2002]. Исследование содержания биогенов в 2010–2011 гг. [Митрофанова, Третьякова, 2013] показало, что средняя концентрация кремния в воде ТО (2.65 ± 0.10 г/м³), т.е. выше лимитирующего значения более чем в 13 раз. Поэтому кремний не является лимитирующим элементом для экосистемы ТО, в которой основной вид фитопланктона — это диатомовые водоросли. В статье [Цхай, Романов, 2023] была проанализирована исходная информация для моделирования трансформации биогенных веществ в экосистеме ТО.

Целью данной работы является оценка гидрологических особенностей удержания кремния как результата накопления,

трансформации и ассимиляции этого элемента в экосистеме ТО.

Материалы и методы

ТО – олиготрофный глубокий водоем тектонического происхождения, расположенный на юге Западной Сибири (рис. 1). Существенные для исследования гидрологические особенности ТО: площадь зеркала – 223 км², объем котловины – порядка 40 км³, глубины озера (максимальная – 325 м, средняя – 174 м). Отчетливо выражены характерные периоды: относительно быстрое (40–50 дней) половодье; длительная (около 140 дней) летне-осенняя межень (июнь–октябрь), с частыми дождевыми паводка-

ми, затем устойчивая продолжительная (порядка 155 дней) зимняя межень (конец октября – начало апреля). ТО принадлежит к умеренному типу водных объектов по гидротермическим условиям. Вся толща воды в ТО в течение 7 месяцев охлаждена ниже 4 градусов Цельсия, а температура свыше 10 градусов Цельсия достигается лишь в верхних 10–20 метрах: на поверхности – до 2.5 месяцев, на глубине двадцати метров – менее одной декады [Селегей, Селегей, 1978].

Такие природные условия совместно с низкой температурой воды обусловили малую самоочищающую способность экосистемы ТО.

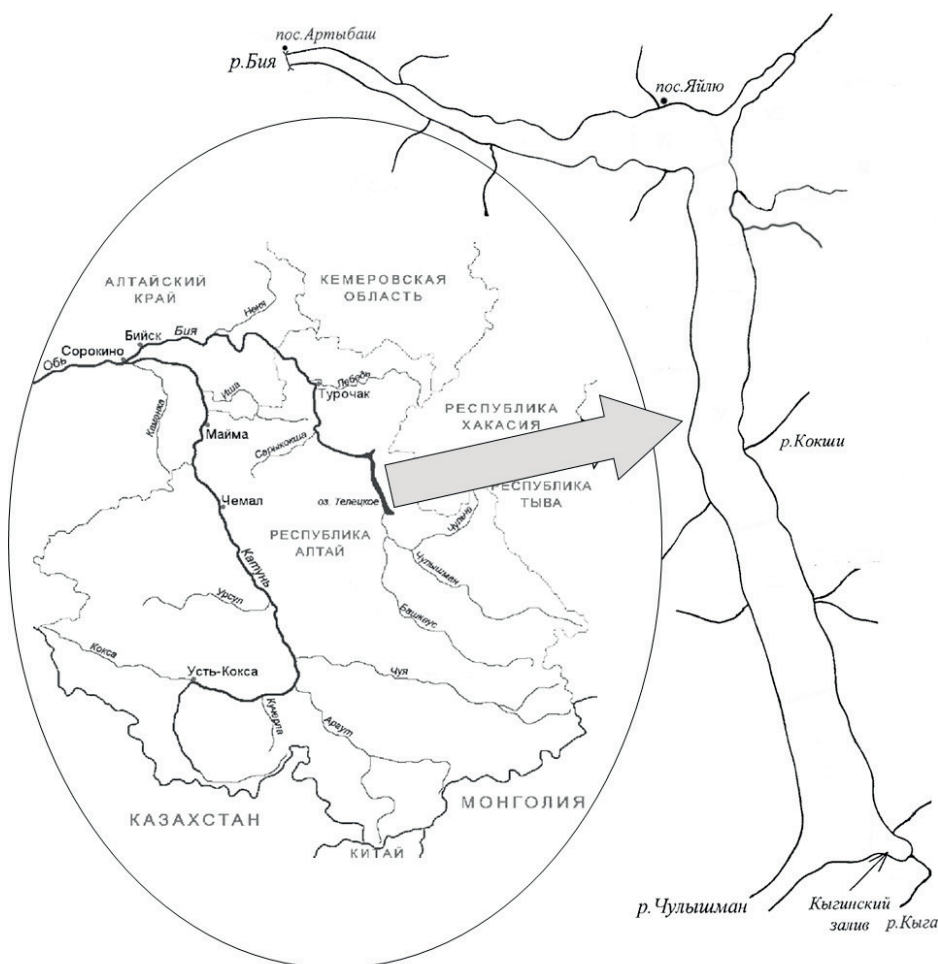


Рисунок. Географическое положение Телецкого озера [Цхай и др., 2024]
Figure. Geographical position Teletskoye Lake [Tskhai, et al., 2024]

Химический элемент Si в ТО и его притоках встречается в растворённых, взвешенных и коллоидных формах. Основные факторы, определяющие их конкретное соотношение: температура, состав вод, pH и др. Главный источник поступления Si в ТО и его водотоки – химическое выветривание и растворение минералов, содержащих Si .

Кремниевые кислоты, продукты их диссоциации и ассоциации, а также кремнийорганические соединения составляют спектр растворённых форм Si [РД, 2018].

С 70-х годов прошлого века в лимнологии широко используется понятие коэффициента удержания R (*coefficient of retention*) [Vollenweider, 1975; Dillon, Rigler, 1975]. Под этим термином понимается относительное снижение концентрации загрязняющего вещества в потоке речных вод в результате попадания в озеро. Удержание кремния в озере происходит вследствие седиментации взвешенных форм из-за замедления скорости русловых потоков. По мере изменения физико-химических факторов и накопления растворённых форм кремния, последние могут коагулировать с последующим выпадением в виде осадка в донные отложения (ДО). Еще одним фактором является меняющаяся интенсивность процессов биологического потребления кремния водными организмами, особенно в период сезонного развития диатомовых водорослей, либо их отмирания. Остатки отмерших диатомовых организмов составляют материал для осаждения и накопления Si в ДО. Далее в результате их частичного растворения в водную толщу возвращается часть кремния в виде его растворённых форм.

В данной работе использовались данные мониторинга за 18 лет: с 1985 по 2003 гг. (например, [Шевченко, 2010]) по содержанию кремния в основном притоке – реке Чулышман (пункт наблюдений Балыкча), боковых притоках р. Кыга и р. Кокши, а также в нижней части ТО (пункты наблюдения Яйлю и Артыбаш).

Для подготовки файлов входных данных была использована процедура отсева случайных реализаций по критерию 3σ [Брандт, 2003]. В расчетах использовались средние концентрации кремния в теплый (июль-сентябрь) и холодный (октябрь-июнь) периоды.

Находилось среднее по i -му периоду значение концентрации кремния ($г/м^3$) C_i и среднеквадратическое отклонение σ . Далее из выборки отсеивались значения, которые не вошли в интервал $(C_i - 3\sigma, C_i + 3\sigma)$. Такая отбраковка повторялась до тех пор, пока после очередного отсеивания в выборке не оставались только те же самые исходные значения. С этого момента больше ни одно значение не отбрасывалось. После этого итоговое среднее значение считалось средним значением переменной за соответствующий i -тый период.

Результаты и обсуждение

Пусть коэффициент R удержания (безразмерная величина) в водоеме, свидетельствующий об относительном понижении концентрации Si в озере по сравнению с его содержанием в приточности.

$$R = \frac{\bar{C}_n - \bar{C}_l}{\bar{C}_n} \quad (1)$$

Здесь $\bar{C}_n$ и $\bar{C}_l$ – средневзвешенные концентрации кремния в приточности и в водоеме, $г/м^3$, соответственно.

Для расчета коэффициента K (год⁻¹) – показателя скорости трансформации загрязняющего вещества в природных водах используется кинетическое уравнение в виде:

$$K = \frac{R}{\tau(1 - R \cdot e^{-1/\tau})} \quad \tau = \frac{V_0}{V_{\text{out}}} \quad (2),$$

где τ – временной период водообмена в ТО с размерностью (год); V_0 – объем воды в озере в начальный момент, м³; V_{out} – годовой водный сток из озера, м³/год [Лозовик и др., 2011].

В таблице для сравнения приведены характеристики ряда озер Северо-Западной части РФ [Лозовик и др., 2011] и выполненные в данной работе соответствующие оценки для случая ТО. Для расчетов использованы исходные данные, оцененные в работе [Цхай, Романов, 2023].

Водные объекты расположены в порядке убывания одной из важнейших гидрологических характеристик озер – периода водообмена. Сравнение данных, приведенных в таблице, демонстрирует, что наибольшие значения коэффициента удержания наблюдаются для больших озер: Онежского и Ладожского (τ от 12 до 16 лет) в силу длительного пребывания Si в озере и, соответственно, более продолжительной возможности коагуляции с оседанием вещества, а также для малых с периодом водообмена τ от 0.5 до 0.8 года в связи со сравнительно более интенсивным оборотом форм Si с последующей седиментацией. Телецкое озеро попадает в среднюю группу озер по длительности периода водообмена и имеет промежуточное

значение R , что обуславливается относительно низкой температурой воды, замедляющей оборот Si в физико-химических взаимодействиях и активность планктонного звена в экосистеме ТО.

Трансформация соединений Si происходит по-разному. В озерах Остер и Селецкое концентрация кремния в приточности не отличается от его содержания в озере. В названных озерах трансформация кремния практически отсутствует, скорее всего из-за поступления кремния в чашу озера с подземными водами. Вероятно, по той же причине очень низкое значение скорости трансформации кремния и в оз. Сегозеро (0.05 год⁻¹) по сравнению с 0.27 год⁻¹ в Ладожском и 0.20 год⁻¹ в Онежском озерах.

Таблица

Период водообмена, коэффициенты удержания и скорости трансформации Si в озерных экосистемах

Table

Water exchange period, retention coefficients, and rates of silicon transformation in lake ecosystems

№	Озеро	τ , лет	Si	
			R , $\bar{b}/p$	K , $год^{-1}$
1	Онежское	15.6	0.85	0.27
2	Ладожское	11.7	0.74	0.20
3	Сегозеро	9.95	0.33	0.05
4	Телецкое	4.41	0.13	0.03
5	Сямоозеро	3.13	0.58	0.32
6	Исо-Пюхярви	1.26	0.39	0.37
7	Остер	1.16	0.06	0.06
8	Селецкое	0.95	0.03	0.04
9	Крошноезеро	0.88	0.57	0.80
10	Пряжинское	0.79	0.74	1.17
11	Водлозеро	0.5	0.57	1.23

Для эвтрофных озер (Водлозеро, Пряжинское и Крошнозеро) показатели скорости трансформации кремния заметно выше (0.80–1.23 год⁻¹). В названных озерах более интенсивно протекает фотосинтез и двуокись кремния активно потребляется фитопланктоном. Из-за малой глубины озер ($h_{cp} = 2.8\text{--}5.7$ м) кремний из фитопланктона не успевает полностью восстановиться в водной массе и остается в донных отложениях, в отличие от более глубоких олиготрофных озер Остер, Селецкое, Сегозеро ($h_{cp} = 9\text{--}29$ м) и, тем более, Телецкого озера со средней глубиной 174 м.

Суммарная ассимиляция в озере *As* рассчитывается по формуле (например, [Цхай и др., 2024]):

$$As = K \cdot C_1 \cdot V_{out} \cdot (\tau + 1) \quad (3)$$

Временной период сбора мониторинговых гидрохимических и гидробиологических данных, использованных в данном исследовании – 1985–2003 гг - считается временем, ограниченного антропогенного воздействия на экологическое состояние природных вод, в том числе, ТО [Шевченко, 2010]. По крайней мере, в это время состояние его экосистемы было стабильным, а нагрузка на ТО была приближена к фоновой. С этим предположением становится возможным оценить допустимую биогенную нагрузку, при которой уровень загрязнения вод ТО

не меняется.

Из результатов выполненных расчетов получаем, что величина суммарной ассимиляции в исследованный период кремния на ТО *As* – это 4140 т в год, а допустимая средняя концентрация *Si* в ТО составляет 2.93 г/м³ при средневзвешенных концентрациях 2.53 г/м³ – в озере и 2.92 г/м³ - в приточности.

Заключение

Выполнен расчет кинетического уравнения для кремния в водной экосистеме и установлены предварительные значения коэффициентов удержания и скорости трансформации соединений *Si* в поверхностных водах ТО. Оценены величины суммарной ассимиляции, допустимой нагрузки и допустимой концентрации кремния для экосистемы ТО.

Полученные значения свидетельствуют о существенной роли кремния в составе аллохтонной взвеси, попадающей в объект исследований с водосбора. Дальнейшее увеличение поступления взвешенного материала при тех же гидрологических условиях, что может иметь место в результате, например, проведения интенсивных горнодобывающих работ на водосборе ТО, может повлечь за собой изменение геохимического класса вод и появление новых эффектов, неблагоприятных для экологической ситуации.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

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

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (по проекту «Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий») и инициативных работ в АлтГТУ им. И. И. Ползунова.

Список литературы

Брандт З. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров. Москва: Мир, 2003. 686 с.

Зарубина Е.Ю., Яныгина Л.В., Бурмистрова О.С., Митрофанова Е.Ю., Ким Г.В., Котовщиков А.В., Крылова Е.Н., Ковешников М.И. Литоральные биоценозы как один из факторов устойчивости экосистемы Телецкого озера // Ползуновский вестник. 2005. № 4–2. С. 201–207.

Лозовик П. А., Рыжаков А. В., Сабылина А. В. Процессы трансформации, круговорота и образования веществ в природных водах // Труды Карельского научного центра РАН. 2011. №4. С. 21–28.

Митрофанова Е. Ю., Третьякова Е. И. Тератологические формы диатомовых водорослей в альгофлоре Телецкого озера (Русский Алтай) // Вода: химия и экология. 2013. № 10(64). С. 112–119.

Мокиенко А. В. Кремний в воде. Гигиенические и медико-биологические аспекты. Одесса: Феникс. 2020. 206 с.

Офицеров Е.Н. Кремний в биосфере // Химия и жизнь. 2002. № 7. С. 32–35.

РД 52.24.433–2018. Массовая концентрация кремния в водах. Методика измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты Роскомгидромет. Ростов-на-Дону: ФГБУ «Гидрохимический институт». 2018. 29 с.

Рыжаков А. В., Вапиров В. В., Степанова И. А. Кремний в поверхностных водах гумидной зоны (на примере водных объектов Карелии) // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 3. С. 52–60. doi: 10.17076/lim942

Селегей В. В., Селегей Т. С. Телецкое озеро. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 143 с.

Цхай А. А., Романов М. А. Об условиях протекания циклов биогенных элементов в Телецком озере: анализ данных для моделирования // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2023. 71(4). С. 40–60. doi: 10.24412/2410-1192-2023-17104

Цхай А.А., Романов М.А., Куприянов В.А. Модель ассимиляционного потенциала озерной экосистемы на примере биогенных загрязнений // Компьютерные исследования и моделирование. 2024. №6. С. 1447–1465. doi: 10.20537/2076-7633-2024-16-6-1447-1465

Шевченко Г. А. Геоэкологическое состояние акватории и прибрежной зоны Телецкого озера (Горный Алтай): Дис. ... кандидата геолого-минерал. наук. Томск, 2010. 149 с.

Dillon P. J., Rigler F. N. A Simple Method for Predicting the Capacity of a Lake for Development Based on Lake Trophic Status // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1975. Vol. 32 (9). P. 1519–1531.

Puzanov A.V., Bezmaternykh D.M., Kirillov V.V., Mitrofanova E.Yu., Yanygina L.V. Ecosystem features and environmental problems of lake Teletskoye (Republic of Altai) // Limnology and Freshwater Biology. 2020. No 4. P. 624–625. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-624.

Vollenweider R. A. Input-Output Models with Special Reference to the Phosphorus Loading Concept in Limnology // Zielsetzungen des Gewässerschutzes. 1975. Vol. 57/1. P. 53–84.

References

Brandt Z. Analiz dannyh. Statisticheskie i vychislitel'nye metody dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov [Data analysis: Statistical and computational methods for scientists and engineers]. Moscow: Mir, 2003. 686 p. (in Russian).

Zarubina E.Ju., Janygina L.V., Burmistrova O.S., Mitrofanova E.Ju., Kim G.V., Kotovshnikov A.V., Krylova E.N., Koveshnikov M.I. Litoral'nye biocenozy kak odin iz faktorov ustojchivosti jekosistemy Teleckogo ozera [Littoral biocenoses as one of the factors of ecosystem stability of Lake Teletskoye] // Polzunovskij vestnik. 2005. № 4–2. P. 201–207. (in Russian).

Lozovik P. A., Ryzhakov A. V., Sabylina A. V. Protsessy transformatsii, krugovorota i obrazovaniya veshchestv v prirodnykh vodakh [The processes of transformation, circulation and formation of substances in natural waters] // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. 2011. №4. P. 21–28. (in Russian).

Mitrofanova E.Ju., Tret'jakova E.I. Teratologicheskie formy diatomovyh vodoroslej v al'goflore Teleckogo ozera (Russkij Altaj) [Teratological forms of diatoms in the algoflora of Lake Teletskoye (Russian Altai)] // Voda: himija i jekologija. 2013. № 10(64). P. 112–119. (in Russian).

Mokienko A.V. Kremnij v vode. Gigienicheskie i mediko-biologicheskie aspekty [Silicon in water. Hygienic and biomedical aspects]. Odessa: Feniks. 2020. 206 p. (in Russian).

Oficerov E.N. Kremnij v biosfere [Silicon in the biosphere] // Himija i zhizn'. 2002. № 7. P. 32–35 (in Russian).

GD 52.24.433–2018. Massovaja koncentracija kremnija v vodah. Metodika izmerenij fotometricheskim metodom v vide zheltoj formy molibdokremnievoj kisloty [The mass concentration of silicon in the waters. Photometric measurement method in the form of yellow form of molybdosilicic acid]. Roskomgidromet. Rostov-na-Donu: FGBU “Gidrohimicheskij institut”. 2018. 29 p. (in Russian).

Ryzhakov A.V., Vapirov V. V., Stepanova I.A. Kremnij v poverhnostnyh vodah gumidnoj zony (na primere vodnyh ob#ektov Karelii) [Silicon in the surface waters of the humid zone (using the example of Karelian water bodies)] // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. № 3. 2019. P. 52–60. doi: 10.17076/lim942 (in Russian).

Selegej V.V., Selegej T.S. Teleckoe ozero [Teletskoye Lake]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 143 p. (in Russian).

Tskhai A. A., Romanov M. A. Ob uslovijah protekanija ciklov biogennyh jelementov v Teleckom ozere: analiz dannyh dlja modelirovaniya [On the conditions of the cycles of biogenic elements in Lake Teletskoye: data analysis for modeling] // Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society. 2023. 71(4). P. 40–60. doi: 10.24412/2410-1192-2023-17104 (in Russian).

Tskhai A.A., Romanov M.A., Kuprijanov V.A. Model' assimiljacionnogo potenciala ozernoj jekosistemy na primere biogennyh zagriznenij [Model of assimilation potential in lake ecosystem on the example of biogenic pollutants] // Computer Research and Modeling. 2024. №6. P. 1447–1465. doi: 10.20537/2076-7633-2024-16-6-1447-1465 (in Russian).

Shevchenko G.A. Geojekologicheskoe sostojanie akvatorii i pribrezhnoj zony Teleckogo ozera (Gornyj Altaj) [Geoecological condition of the water area and coastal zone of Lake Teletskoye (Gorny Altai)]: PhD (Cand. of Geol.-mineral.) thesis. Tomsk, 2010. 149 p. (in Russian).

Dillon P.J., Rigler F.N. A Simple Method for Predicting the Capacity of a Lake for Development Based on Lake Trophic Status // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1975. Vol. 32 (9). P. 1519–1531.

Puzanov A.V., Bezmaternykh D.M., Kirillov V.V., Mitrofanova E.Yu., Yanygina L.V. Ecosystem features and environmental problems of lake Teletskoye (Republic of Altai) // Limnology and Freshwater Biology. 2020. No 4. P. 624–625. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-624.

Vollenweider R.A. Input-Output Models with Special Reference to the Phosphorus Loading Concept in Limnology // Zielsetzungen des Gewässerschutzes. 1975. Vol. 57/1. P. 53–84.

HYDROLOGICAL FEATURES OF SILICON RETENTION IN THE LAKE TELETSKOYE

A.A. Tskhai^{1,2}, M.A. Romanov²

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

²*Polzunov Altai State Technical University, Barnaul,*

E-mail: tskhai@iwep.ru

The object of the study is the Lake Teletskoye (LT). The aim of the study is to evaluate the hydrological features of the silicon (Si) retention as a result of the accumulation, transformation and assimilation of this element in LT ecosystem. Due to the low water temperature throughout the year, LT has a low self-cleaning resource, which is confirmed by calculations. Due to the low water temperature throughout the year, IT has a low self-cleaning resource, which is confirmed by calculations. The kinetic equation for silicon is given and the preliminary values of the retention coefficients and the rate of transformation of Si compounds in surface waters are calculated. The values of total assimilation, permissible load, and permissible silicon concentration in LT water are estimated.

Keywords: hydrology; limnology; transformation; model; Teletskoye Lake.

Received January 27, 2025. Accepted: February 28, 2025

Сведения об авторах

Цхай Александр Андреевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИВЭП СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1; профессор

кафедры высшей математики Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. ORCID: 0000-0003-3892-1502. E-mail: tskhai@iwep.ru.

Романов Максим Анатольевич – преподаватель кафедры прикладной математики Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. ORCID: 0000-0001-5010-6469. E-mail: max.rom1@mail.ru.

Information about the authors

Tskhai Aleksandr Andreevich – Dr Sc. in Technics, Professor, Chief Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya Str., 656038 Barnaul RF. Professor of the High Mathematics Chair of the Altai State Technical University. 46, Lenin Av., 656038 Barnaul RF. ORCID: 0000-0003-3892-1502. E-mail: tskhai@iwep.ru.

Romanov Maxim Anatol'evich – Lecturer of the Applied Mathematics Chair of the Altai State Technical University. 46, Lenin Av., 656038 Barnaul, RF. ORCID: 0000-0001-5010-6469. E-mail: max.rom1@mail.ru.

Раздел 4

Section 4

УДК 574.583

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА ПЕЛАГИАЛИ
ЮЖНОГО БАЙКАЛА (НАПРОТИВ ПОСЁЛКА БОЛЬШИЕ КОТЫ)**

А.А. Демидова, О.О. Русановская, С.В. Шимараева, Е.А. Зилов

Научно-исследовательский институт биологии ФГБОУ ВО «ИГУ», Иркутск,

E-mail: dem.anastasia.a@mail.ru, rusanovskaya-o.o@mail.ru,

shimaraeva@gmail.com, eugenesilow@gmail.com

*Представлены результаты анализа сезонной динамики численности зоопланктона в 2019 г. на пелагической станции в Южной котловине озера Байкал (напротив п. Большие Коты) в слое 0–50 м. Среднегодовая общая численность зоопланктона составила 1779.0 ± 191.2 тыс. экз./м². Веслоногие ракообразные составили 61.2% от среднегодовой численности всего зоопланктона, доля коловраток – 38.3%, ветвистоусых ракообразных – 0.4%. В общей численности зоопланктонных организмов 60.8% составила *Epischura baikalensis* Sars, 1900. Максимумы численности зоопланктона отмечались в феврале и в августе – сентябре.*

Ключевые слова: зоопланктон; численность; сезонная динамика; видовой состав; Байкал; пелагиаль; мониторинг.

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17606

Дата поступления: 17.12.2024. Принята к печати: 28.02.2025

В ближайшей перспективе экосистема озера Байкал может столкнуться с проблемой существенного увеличения негативных нагрузок. Это связано как с глобальными климатическими изменениями и наблюдающимися уже сейчас процессами потепления вод озера, так и с происходящим масштабным промышленным хозяйственно-экономическим освоением байкальского региона [Carrea et al., 2020; Pilla et al., 2021]. По данным отчёта «State of the Climate in 2019» [Dunn et. al., 2020], 2019 г. вошел в тройку самых теплых лет на Земле с момента начала учёта. Потепление поверхности суши и океана отражается и на температуре озёр по всему миру, в период с 1995 по 2019 гг. поверхностный слой воды в среднем потеплел на 0.2°C.

Средняя температурная аномалия в озёрах Европы в 2019 г. достигла +0.6°C [Carrea et al., 2020]. Из вышеизложенного следует, что особенную актуальность в настоящее время для оз. Байкал приобретают мониторинговые исследования. Непрерывный экологический мониторинг планктона озера ведётся в Научно-исследовательском институте биологии ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет» (НИИ биологии «ИГУ») с февраля 1945 г. В ходе мониторинга оценивается видовой состав и численность планктона. Гидробиоценоз Байкала, как и других озёр, складывается из фито-, зоо- и бактериопланктона. Сетный зоопланктон представлен веслоногими и ветвистоусыми ракообразными, и коловратками.

В представленной работе проведён

анализ видового состава и численности зоопланктона открытой пелагиали озера Байкал в 2019 г. в свете усиления влияния климатических изменений на внутренние воды.

Материалы и методы

Станция отбора проб располагается в открытой части Южного Байкала, на расстоянии 2.7 км от берега над глубиной около 800 м против биостанции НИИ биологии «ИГУ» (п. Большие Коты).

Материалом для исследования послужили данные круглогодичных, ежегодных (за исключением времени ледостава и вскрытия ото льда) наблюдений в 2019 г.

Температуру воды измеряли встроенным в батометр ртутным термометром на горизонтах 0, 5, 10, 25 и 50 м. Прозрачность измеряли стандартным белым диском Секки.

Пробы воды для определения содержания хлорофилла «а» отбирали 7-ми литровым батометром с горизонтов 0, 5, 10, 25, 50 м. После фильтрования через трековые (нуклеопоровые) фильтры с диаметром пор 0.7 мкм определяли концентрацию хлорофилла «а» стандартным спектрофотометрическим методом [ГОСТ 17.1.4.02-90, 2001].

Орудием лова зоопланктона служила планктонная сеть Джеди с диаметром входного отверстия 37.5 см и фильтрующим конусом из мельничного сита № 55 (100 мкм) [Кожова, Мельник, 1978]. Облавливали слой 0–50 м по следующим фракциям 10–0, 25–10, 50–25 м. Пробы фиксировали 40%-ным раствором фор-

малина доводя до концентрации в 4%. Камеральную обработку проводили по стандартным методикам [Кожова, Мельник, 1978; Аров и др., 2000]. После отстаивания в течение трёх недель пробы концентрировали; осадок исследовали в счётной камере при помощи светового микроскопа. При идентификации видов использовали определители [Кутикова, 1970; Боруцкий и др., 1991; Мазепова, 1995; Коровчинский и др., 2021]. Численность каждой таксономической группы зоопланктона и вида оценивали в тыс. экз./м².

Оз. Байкал полностью покрылось льдом в феврале [Ледовая обстановка..., 2019]. Начиная с марта в разные сезоны годы было проведено 28 отборов проб. Всего в слое 0–50 м по трём фракциям отобрано 84 пробы зоопланктона. Ранней весной отобрали 9 проб, поздней весной – 18, ранним летом – 18, поздним летом – 12, в осенний период отобрано максимальное количество проб – 24 и зимой отобрано 3 пробы.

Для построения графиков сезонной динамики численности зоопланктона использовали общую численность в слое 0–50 м за каждую дату отбора (28 дат). Разделение видов по сезонной принадлежности производили согласно М.М. Кожову [1962]: ранняя весна (подлёдный период – февраль, март, апрель), поздняя весна (переходный период – май, июнь), раннее лето (июль–первая половина августа), позднее лето (вторая половина августа–сентябрь), осень (октябрь–ноябрь) и зима (декабрь–январь).

Использовали средневзвешенные зна-

чения температуры воды и концентрации хлорофилла «a» в слое 0–50 м, рассчитанные по формуле взвешенной арифметической средней [Закс, 1976]. Для среднегодовой численности зоопланктона применяли следующие показатели: среднеарифметическая и стандартная ошибка средней.

Нормальность распределения численных показателей проверяли, используя критерий Шапиро-Уилка. Принималось, что распределение данных является нормальным при $p \geq 0.05$. Выяснено, что распределения общей численности всего зоопланктона ($p=0.18$), температуры воды ($p=0.35$) и концентрации хлорофилла «a» ($p=0.31$) в 2019 г. соответствуют нормальному. Распределение значений численности *E. baikalensis* ($p<0.01$), коловраток ($p<0.01$), ветвистоусых рачков ($p<0.01$) и *Cyclops kolensis* Lilljeborg, 1901 ($p<0.01$) не является нормальным. Для анализа данных, которые распределены нормально, использовали среднее арифметическое и ошибку средней, и корреляцию Пирсона. К данным, которые не соответствуют нормальному распределению, применяли критерий Манна-Уитни. Оценку значимости коэффициентов корреляции проводили с помощью критерия Стьюдента. Значимость различий численности зоопланктона между годами исследования определяли с использованием критерия Манна-Уитни, при этом принималось, что между выборками нет значимых различий при $p \geq 0.05$. Расчёты коэффициентов производились в программе Past.

Результаты и обсуждение

По территории России 2019 г. стал четвёртым среди самых теплых с 1936 г., а в Сибирском федеральном округе (СФО) – пятым. Среднегодовая аномалия температуры воздуха в СФО составила $+2.2^{\circ}\text{C}$ [Доклад..., 2020]. Исследования, проведенные в 2019 г. в Южном Байкале, показали, что температуры воды у поверхности изменялись в характерном для оз. Байкал диапазоне: от 0.6 (март) до 16.2°C (июль). Прозрачность варьировала от 5.5 (июль) до 27 м (май) со значением 15.0 ± 1.5 м. С 2014 по 2019 гг. фиксировались среднегодовые значения температуры воды выше 5°C , что позволило отнести 2019 г. к «тёплому». При классификации был использован метод, применяемый в работе Н. Г. Шевелевой и О. Г. Пеньковой [2016].

Изменения прозрачности в глубоководной части Байкала определяются степенью развития фитопланктона [Сутырина, 2016]. Концентрация хлорофилла «a» может использоваться в качестве показателя временной и пространственной динамики фитопланктона [Минеева, 2009]. Концентрация хлорофилла «a» (рис. 1) в 2019 г. в слое 0–50 м изменялась от 0.2 до 1.8 мг/м^3 со средним значением 0.8 ± 0.1 мг/м^3 .

В зоопланктоне в 2019 г. обнаружено 22 вида (табл.). Среди них 18 – коловраток, 2 – веслоногих и 2 – ветвистоусых ракообразных. Весной в состав зоопланктона входило 10 видов, летом – 16, осенью – 18 и зимой – 7.

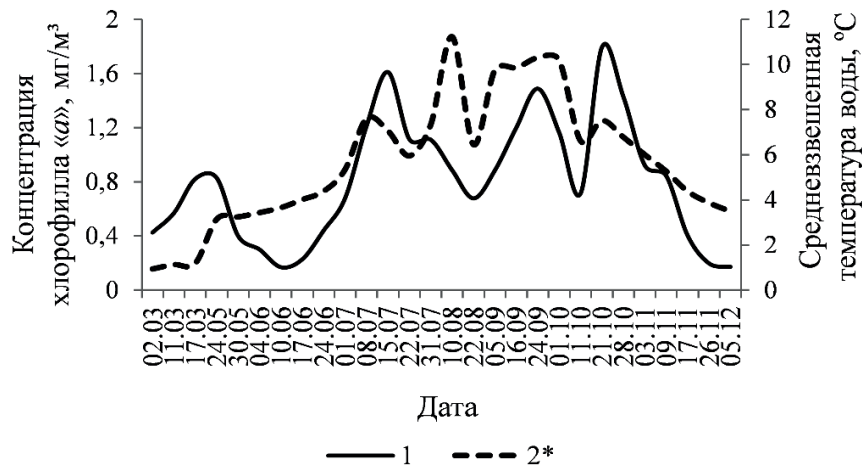


Рис. 1. Содержание хлорофилла «a» и температура воды в 2019 г. в пелагиали Южного Байкала (0–50 м).

1 – концентрация хлорофилла «a», 2* – температура воды (* – по вспомогательной оси)

Fig. 1. Chlorophyll «a» content and water temperature in 2019 in the Southern Baikal pelagial (0–50 m).

1 – chlorophyll «a» concentration, 2* – water temperature (* – on the auxiliary axis)

Среднегодовая суммарная численность зоопланктона в 2019 г. в слое 0–50 м на пелагической станции составила 1779.0 ± 191.2 тыс. экз./м². Основную часть численности зоопланктона озера составили веслоногие ракообразные (табл.). Наибольший вклад вносил веслоногий рачок *E. baikalensis* – 60.8%. Численность *C. kolensis* низкая – 0.4% от всего зоопланктона. Доля коловраток составила 38.3%, ветвистоусых ракообразных – 0.4%.

Весной по численности в озере доминировали веслоногие ракообразные (97.7%). В летний период в зоопланктоне возросла доля коловраток (41.6%); веслоногие рачки преобладали, но их доля уменьшилась (57.8%). Вклад ветвистоусых рачков в численность сообщества был незначителен (0.6%). В осенний период наблюдался пик развития коловраток и увеличение их роли в зоопланктоне (77.7%), доля веслоногих рачков по численности уменьшилась до 21.9%. Зимой также преобладали веслоногие (58.4%) и коловратки (41.4%).

В оз. Байкал обитают 2 вида веслоногих ракообразных: *C. kolensis* и *E. baikalensis*. Супердоминантным видом байкальского зоопланктона является эндемичный *E. baikalensis*. По численности преобладали науплиальные стадии рачков (рис. 2). Копеподиты (I–V стадия) были наиболее обильны в летний период. Половозрелые особи *E. baikalensis* (VI стадия) менее многочисленны. Подлédный период характеризовался увеличением численности науплиусов зимне-весенней генерации с последующим переходом рачков к копеподитному периоду развития.

Период раннего лета (июль) характеризовался максимальной численностью *E. baikalensis* (3467 тыс. экз./м²) в озере. Наблюдалось массовое появление молоди летней генерации, что могло быть обусловлено большим количеством отложенных яиц, особенностями развития фитопланктона, а также температурными условиями [Naumova, Alekseev, 2020]. В дальнейшем происходило постепенное снижение численности *E. baikalensis* в слое 0–50 м с минимумом в середине ноября.

Таблица

Таксономический состав зоопланктона в 2019 г. в пелагиали Южного Байкала (0–50 м)

Table

Taxonomic composition of zooplankton in 2019 in the Southern Baikal pelagial (0–50 м)

№ п/п	Таксон	Среднегодовая численность, тыс. экз./м ²	Сезон			
			Весна	Лето	Осень	Зима
	Copepoda	1089.4±68.4				
1	<i>Epischura baikalensis</i> Sars G.O., 1900	1081.5±168.7	+	+	+	+
2	<i>Cyclops kolensis</i> Lilljeborg, 1901	7.9±2.5	+	+	+	
	Cladocera	7.6±2.6				
3	<i>Daphnia galeata</i> Sars, 1863				+	
4	<i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Müller, 1776)				+	
	Rotifera	682.0±167.1				
	Круглогодичная группа	505.8±122.9				
5	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)		+	+	+	+
6	<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	206.8±62.8	+	+	+	+
7	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)		+	+	+	+
8	<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886)	113.4±26.8	+	+	+	+
	Зимне-весенняя группа	1.6±0.5				
9	<i>Synchaeta pachypoda</i> Jashnov, 1922		+			+
10	<i>Notholca cinetura</i> Skorikov, 1914 (= <i>Notholca grandis</i> Voronkov, 1917)		+			
11	<i>N. intermedia</i> Voronkov, 1917		+	+		
12	<i>Collotheca</i> sp.		+	+	+	+
	Летне-осенняя группа	174.6±60.6				
13	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850			+	+	
14	<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof, 1891)				+	
15	<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet, 1892			+	+	
16	<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832			+	+	
17	<i>Synchaeta</i> sp.			+	+	
18	<i>Synchaeta grandis</i> Zacharias, 1893				+	
19	<i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski, 1893			+	+	
20	<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943			+	+	
21	<i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski & Zacharias, 1893)			+		
22	<i>Gastropus stylifer</i> Imhof, 1891			+	+	

Доля *C. kolensis* в 2019 г. составила всего 0.4% от общей численности зоопланктона. Для рачка в пелагиали Байкала характеры низкие количественные показатели в зимний период [Мазепова, 1995]. Среди всех стадий развития *C. kolensis* в 2019 г. доминировали копепо-

диты (I–VI стадии) – 4.0±1.5 тыс. экз./м² (50.8%). Половозрелые особи рачка малочисленны. В связи с круглогодичным обитанием в открытой пелагиали у байкальского *C. kolensis*, по сравнению с популяциями вида, обитающими вне озера, исчезла летняя диапауза [Мазепова, 1995].

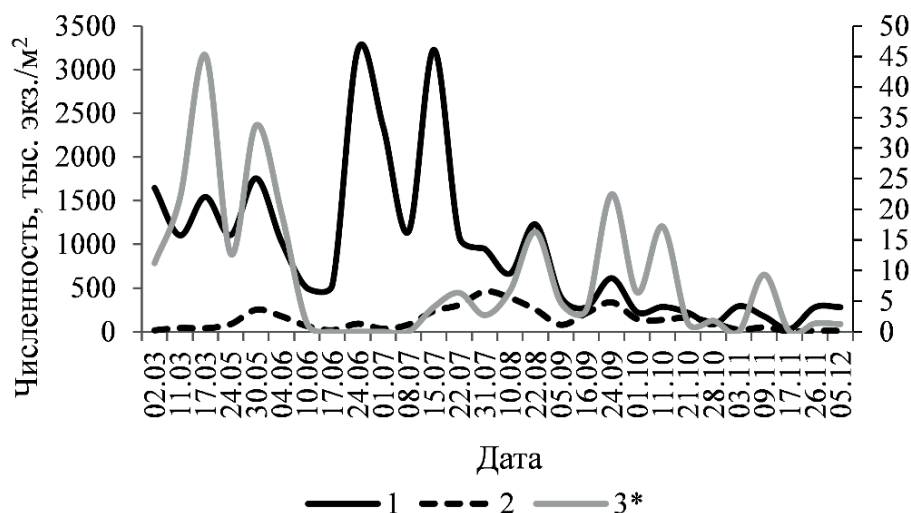


Рис. 2. Динамика численности возрастных групп *Epischura baikalensis* в 2019 г. в пелагиали Южного Байкала (0–50 м). 1 – науплии, 2 – копепоидиты, 3* – половозрелые особи (* – по вспомогательной оси)

Fig. 2. Abundance dynamics of age groups of *Epischura baikalensis* in 2019 in the Southern Baikal pelagial (0–50 m). 1 – nauplii, 2 – copepodites, 3* – adults (* – on the auxiliary axis)

В 2019 г. в динамике численности *C. kolensis* заметны два пика развития (рис. 3). Первый максимум наступил в начале августа, второй – в сентябре–октябре. В ноябре численность *C. kolensis* низкая.

В пелагиали Байкала отмечалось два вида Cladocera: *B. longirostris* и *D. galeata* с доминированием первого (табл.). Они, как правило, начинают появляться в авгу-

сте, пик развития у *D. galeata* приходится на сентябрь, а у *B. longirostris* – на октябрь [Шевелева, Помазкова, 1995]. Численность ветвистоусых ракообразных в 2019 г. достигала максимума в первой половине августа – 57.6 тыс. экз./м² (рис. 4). Затем к концу августа наступал спад численности. В сентябре численность снова повышалась и затем постепенно убывала.

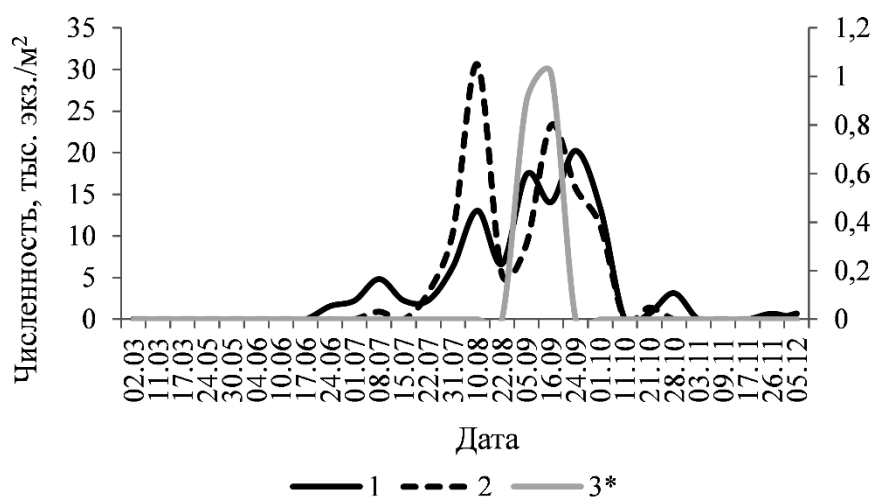


Рис. 3. Динамика численности возрастных групп *Cyclops kolensis* в 2019 г. в пелагиали Южного Байкала (0–50 м). 1 – науплии, 2 – копепоидиты, 3* – половозрелые особи (* – по вспомогательной оси)

Fig. 3. Abundance dynamics of the age groups of *Cyclops kolensis* in 2019 in the Southern Baikal pelagial (0–50 m). 1 – nauplii, 2 – copepodites, 3* – adults (* – on the auxiliary axis)

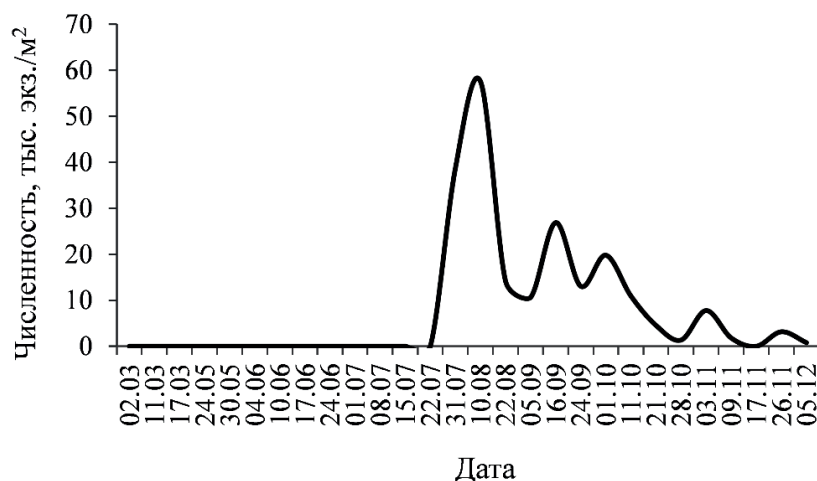


Рис. 4. Динамика численности Cladocera в 2019 г. в пелагиали Южного Байкала (0–50 м)
Fig. 4. Dynamics of Cladocera abundance in 2019 in the Southern Baikal pelagial (0–50 m)

Наибольшим видовым разнообразием в Байкале отличались коловратки (табл.). В 2019 г. среднегодовую численность коловраток на 74.2% определяли виды, которые обитают в пелагиали круглый год (табл.). В круглогодичной группе Rotifera состояло 4 вида, среди которых доминировали *K. quadrata* (40.9%) и *F. terminalis* (22.4%). На территории России вид *K. quadrata* многочисленен в оз. Плещеево [Жданова и др., 2019]. Обилие круглогодичных видов на байкальской станции повышалось к концу июля (рис. 5),

возможно, из-за меньшей конкуренции с *E. baikalensis*. К началу октября Rotifera достигали максимального развития.

Зимне-весенняя группа байкальских коловраток состоит из эндемичных и субэндемичных видов. В данный комплекс в 2019 г. входило 4 вида (табл.), доминировал эндемичный вид *N. intermedia*. Высокая численность этой зимне-весенней коловратки наблюдалась в июле (рис. 6), что не характерно для других холодолюбивых видов группы.

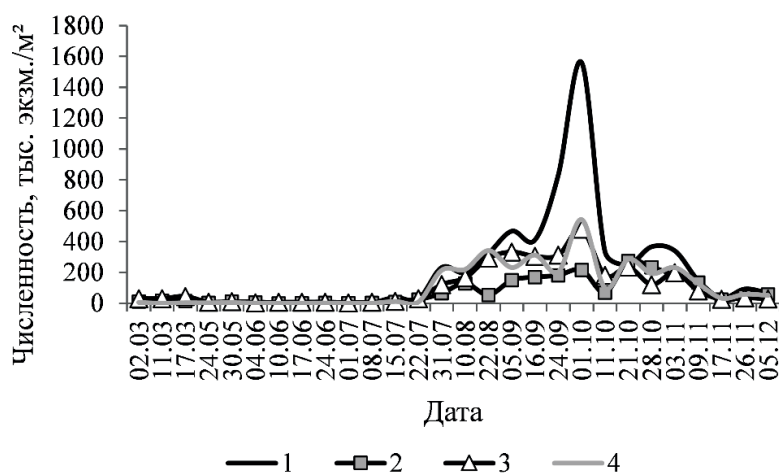


Рис. 5. Динамика численности круглогодичных коловраток в 2019 г. в пелагиали Южного Байкала (0–50 м).
1 – *Keratella quadrata*, 2 – *Keratella cochlearis*, 3 – *Kellicottia longispina*, 4 – *Filinia terminalis*
Fig. 5. Abundance dynamics of year-round rotifers in 2019 in the Southern Baikal pelagial (0–50 m).
1 – *Keratella quadrata*, 2 – *Keratella cochlearis*, 3 – *Kellicottia longispina*, 4 – *Filinia terminalis*

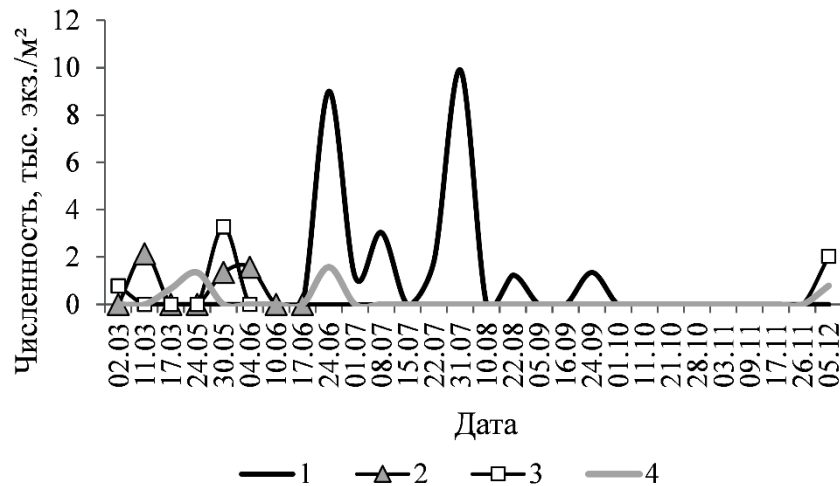


Рис. 6. Динамика численности зимне-весенних коловраток в 2019 г. в пелагиали Южного Байкала (0–50 м).

1 – *Notholca intermedia*, 2 – *Notholca grandis*, 3 – *Synchaeta pachypoda*, 4 – *Collothea* sp.

Fig. 6. Abundance dynamics of winter-spring rotifers in 2019 in the Southern Baikal pelagial (0–50 m).

1 – *Notholca intermedia*, 2 – *Notholca grandis*, 3 – *Synchaeta pachypoda*, 4 – *Collothea* sp.

Вид *N. intermedia* отмечался в пелагиали до позднего лета (сентябрь). В проливе Малое Море (оз. Байкал) эта коловратка также развивалась в летне-осенний период [Шевелева, Пенькова, 2023]. Зимне-весенний комплекс коловраток характеризовался низкой среднегодовой численностью (табл.).

Летне-осенняя группа коловраток

включала наибольшее число видов (табл.).

В 2019 г. в данном комплексе доминировал вид *S. stylata* (рис. 7), который также обилён в Телецком озере [Бурмистрова, 2023]. Развитие теплолюбивых коловраток начиналось ранним летом (июль). В динамике численности летне-осенней группы Rotifera выявлено три пика развития с максимумом поздним летом (сентябрь).

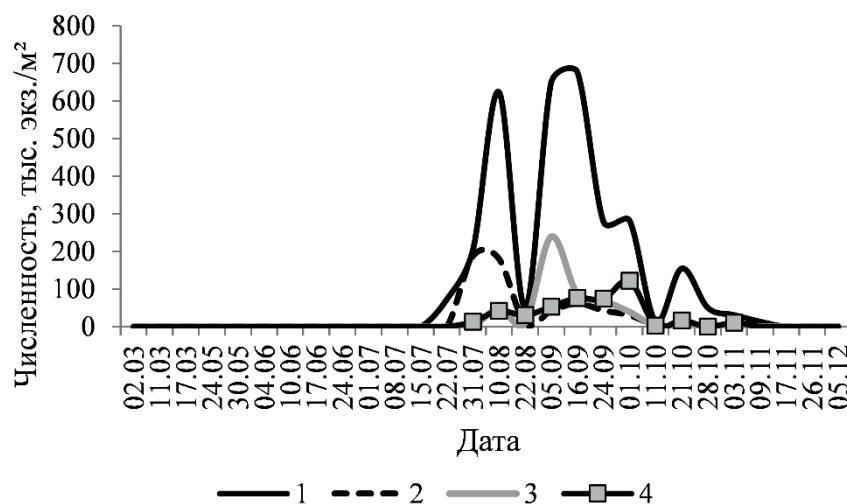


Рис. 7. Динамика численности доминирующих летне-осенних коловраток в 2019 г. в пелагиали Южного Байкала (0–50 м). 1 – *Synchaeta stylata*, 2 – *Polyarthra vulgaris*, 3 – *Gastropus stylifer*, 4 – *Collothea* sp.

Fig. 7. Abundance dynamics of dominant summer-autumn rotifers in 2019 in the Southern Baikal pelagial (0–50 m).

1 – *Synchaeta stylata*, 2 – *Polyarthra vulgaris*, 3 – *Gastropus stylifer*, 4 – *Collothea* sp.

Было выявлено, что круглогодичная группа составила основную часть всех коловраток – 74.2%. Вклад зимне-весеннего комплекса в общую численность Rotifera наименьший – 0.2%, а доля летне-осенней группы составила 25.6%.

По результатам расчётов уровень связи численности зоопланктона с температурой воды и концентрацией хлорофилла «а» был невысокий, сила корреляции численности с температурой ($r=0.57$) больше, чем с содержанием хлорофилла ($r=0.49$). Т. е. с температурой воды связь средняя, а с концентрацией хлорофилла – умеренная. Корреляция статистически значима ($p<0.01$).

Наблюдаемое в 2019 г. повышение среднегодовой численности веслоногого рачка *E. baikalensis* и ветвистоусых рачков по сравнению с предыдущим годом оказалось не значимо ($p=0.84$; 0.76), следовательно, их численные показатели находились в пределах межгодовых колебаний [База данных...; Демидова, Русановская, 2023]. Отмечаемое в 2019 г., снижение численности коловраток и

C. kolensis также было не значимо ($p=0.52$; 0.09), следовательно, их количество было сопоставимо с предыдущими годами исследования.

Заключение

В 2019 г. наблюдалась довольно высокая среднегодовая температура воды. Рачок *E. baikalensis* в 2019 г. являлся главным компонентом зоопланктона оз. Байкал, его доля от общей численности сообщества составила 60.8%. Среднегодовые значения численности *C. kolensis* минимальны. Коловратки в 2019 г. составили 38.3% численности зоопланктона с доминированием круглогодичных видов. В сезонной динамике численности повышение обилия коловраток начиналось с июля, в то же время, когда наблюдалось некоторое снижение численности рачкового зоопланктона. Коловратки достигали максимальных значений численности в октябре. В целом, несмотря на отмеченные особенности, в 2019 г. уровень количественного развития и сезонная динамика зоопланктона были обычны для Байкала.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ и Фонда поддержки прикладных экологических разработок и исследований «Озеро Байкал».

Список литературы

Аров И.В., Башарова Н.И., Мельник Н.Г. Методы изучения зоопланктона. Часть 2. Качественная и количественная обработка проб. Метод. указания. Иркутск: Иркут. ун-т, 2000. 29 с.

База данных «Зоопланктон» [№ гос. регистрации 200560028 от 21.10.2005 г].

Бурмистрова О.С. Характеристика зоопланктона на трех участках пелагиали Телецкого озера в 2016–2021 гг. // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2023. № 2(69). С. 28–43. doi: 10.24412/2410-1192-2023-16903

Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С. Определитель Calanoida пресных вод СССР. СПб: Наука, 1991. 520 с.

ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 12 с.

Демидова А.А., Русановская О.О. Состояние зоопланктона в пелагиали Южного Байкала в 2018 г. // Актуальные проблемы биологии и экологии: матер. докл. XXX Всерос. молодеж. науч. конф. (20–24 марта 2023 г., г. Сыктывкар). Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023. С. 55–58.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. Москва, 2020. 97 с.

Жданова С.М., Сабитова Р.З., Цветкова М.В. Состав и структура зоопланктона озера Плещеево // ТРУДЫ ИБВВ РАН. 2019. № 86(89). С. 34–56. doi: 10.24411/0320-3557-2019-10010

Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.

Кожов М.М. Биология озера Байкал. М.: Наука, 1962. 315 с.

Кожова О.М., Мельник Н.Г. Инструкция по обработке проб планктона счетным методом. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1978. 50 с.

Коровчинский Н.М., Котов А.А., Синёв А.Ю., Неретина А.Н., Гарибян П.Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 2. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. 544 с.

Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.

Ледовая обстановка на озере Байкал. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/18579/> (дата обращения: 24.01.2025).

Мазепова Г.Ф. Отряд Copepoda – Веслоногие, Подотряд Cyclopoidea // Атлас и определитель пелагобионтов Байкала (с краткими очерками по их экологии). Новосибирск: Наука, 1995. С. 406–426.

Минеева Н.М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус, 2009. 279 с.

Сутырина Е.Н. Распределение прозрачности воды в озере Байкал по данным радиометра AVHRR // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 95–103. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-95-103

Шевелева Н.Г., Помазкова Г.И. Отряд Cladocera – ветвистоусые ракообразные // Атлас и определитель пелагобионтов Байкала (с краткими очерками по их экологии). Новосибирск: Наука, 1995. С. 431–477.

Шевелева Н.Г., Пенькова О.Г. К многолетней динамике весеннего зоопланктона открытой части пролива Малое Море (Байкал) // Гидробиологический журнал. 2016. Т. 52, № 4. С. 27–34.

Шевелева Н.Г., Пенькова О.Г. Изменение структуры зоопланктона пролива Малое Море (оз. Байкал) на фоне усиления антропогенной нагрузки (1993–2019 гг.) // Развитие

жизни в процессе абиотических изменений на Земле. 2023. № 4. С. 155–158. doi: 10.24412/cl-34446-2023-4-155-158

Carrea L., Woolway I.R., Merchant C.J., Dokulil M.T., DeGasperi C., Eyto E.D. et al. Lake surface water temperature [in “State of the Climate in 2019”] // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2020. 101(8). P. S26–S28. doi: 10.1175/2020BAMSStateoftheClimate.1

Dunn R.J.H., Stanitski D.M., Gobron N. and Willett K.M., Eds., Global Climate [in “State of the Climate in 2019”] // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2020. 101(8). P. S9–S127. doi: 10.1175/BAMS-D-20-0104.1

Naumova E.Y., Alekseev V.R. How many generations does *Epischura baikalensis* (Copepoda, Calanoida) have in Lake Baikal? // Crustaceana. 2020. Vol. 93. P. 507–518. doi: 10.1163/15685403-00003981

Pilla R.M., Mette E.M., Williamson C.E., Adamovich B.V., Adrian R., Anneville O. et al. Global data set of long-term summertime vertical temperature profiles in 153 lakes // Sci. Data. 2021. Vol. 8. P. e200. doi: 10.1038/s41597-021-00983-y

References

Arov I.V., Basharova N.I., Mel'nik N.G. Metody izucheniya zooplanktona. Chast' 2. Kachestvennaya i kolichestvennaya obrabotka prob. Metod. ukazaniya [Methods of studying zooplankton. Part 2. Qualitative and quantitative processing of samples. Method. instructions]. Irkutsk: Irkutsk State University, 2000. 29 p. (in Russian).

Baza dannykh «Zooplankton» [Database “Zooplankton”] [No. gos. registratsii 200560028 ot 21.10.2005 [State registration number 200560028 dated 21.10.2005]]. (in Russian).

Burmistrova O.S. Kharakteristika zooplanktona na trekh uchastkakh pelagiali Teletskogo ozera v 2016–2021 gg. [Characterisation of zooplankton at three pelagial sites of Lake Teletskoye in 2016–2021] // Izvestiya Altaiskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2023. No. 2(69). P. 28–43. doi: 10.24412/2410-1192-2023-16903 (in Russian).

Borutskii E.V., Stepanova L.A., Kos M.S. Opredelitel' Calanoida presnykh vod SSSR [Key to the Calanoids of the freshwaters of the USSR]. St. Petersburg: publishing house Science, 1991. 520 p. (in Russian).

GOST 17.1.4.02-90. Voda. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla a [Water. Methodology of spectrophotometric determination of chlorophyll a]. Moscow: Publishing and printing complex of the state standard of Russia Publishing house of standards, 2001. 12 p. (in Russian).

Demidova A.A., Rusanovskaya O.O. Sostoyanie zooplanktona v pelagiali Yuzhnogo Baikala v 2018 g. [Status of zooplankton in the Southern Baikal pelagial in 2018] // Aktual'nye problemy biologii i ekologii: mater. dokl. XXX vseros. molodezh. nauch. konf. (20–24 marta 2023., g. Syktyvkar) [Urgent problems of biology and ecology: proceed. of the XXX All-rus. youth scientific conf. (20–24 March 2023, Syktyvkar)]. Syktyvkar: Institute of Biology of

Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2023. P. 55–58. (in Russian).

Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2019 god [Report on characteristics of the climate on the territory of the Russian Federation for 2019]. Moscow, 2020. 97 p. (in Russian).

Zhdanova S.M., Sabitova R.Z., Tsvetkova M.V. Sostav i struktura zooplanktona ozera Pleshcheevo [Composition and structure of the zooplankton community in Lake Pleshcheevo] // TRUDY IBVV RAN [Transactions of IBIW]. 2019. No. 86(89). P. 34–56. doi: 10.24411/0320-3557-2019-10010 (in Russian).

Zaks L. Statisticheskoe otsenivanie [Statistical estimation]. Moscow: publishing house Statistika, 1976. 598 p. (in Russian).

Kozhov M.M. Biologiya ozera Baikal [Biology of Lake Baikal]. Moscow: publishing house Science, 1962. 315 p. (in Russian).

Kozhova O.M., Mel'nik N.G. Instruktsiya po obrabotke prob planktona schetnym metodom [Instructions for processing plankton samples by counting method]. Irkutsk: ISU publishing house, 1978. 50 p. (in Russian).

Korovchinsky N.M., Kotov A.A., Sinev A.Yu., Neretina A.N., Garibyan P.G. Vetvistousye rakoobraznye (Crustacea: Cladocera) Severnoj Evrazii [Cladocerans (Crustacea: Cladocera) of Northern Eurasia]. T. 2. Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2021. 544 p. (in Russian).

Kutikova L.A. Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria). [Rotifer Fauna of the USSR (Rotatoria)]. Leningrad: publishing house Science, 1970. 744 p. (in Russian).

Ledovaya obstanovka na ozere Baikal [Ice situation on Lake Baikal]. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/press/news/18579/> (accessed: 24.01.2025). (in Russian).

Mazepova G.F. Otryad Copepoda – Veslonogie, Podotryad Cyclopoida [Order Copepoda – Copepods, Suborder Cyclopoida] // Atlas i opredelitel' pelagobiontov Baikala (s kratkimi ocherkami po ikh ekologii) [Guid and Key to Pelagic Animals of Baikal (with Ecological Notes)]. Novosibirsk: Publishing house Science, 1995. P. 406–426. (in Russian).

Mineeva N.M. Pervichnaya produktsiya planktona v vodokhranilishchakh Volgi [Primary production of plankton in Volga reservoirs]. Yaroslavl: Printkhaus publishing house, 2009. 279 p. (in Russian).

Sutyryna E.N. Raspredelenie prozrachnosti vody v ozere Baikal po dannym radiometra AVHRR [Distribution of water transparency in Lake Baikal according to AVHRR radiometer data] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern problems of Earth remote sensing from space]. 2016. Vol. 13, no. 2. P. 95–103. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-95-103 (in Russian).

Sheveleva N.G., Pomazkova G.I. Otryad Cladocera – vetvistousye rakoobraznye [Order Cladocera – cladocerans] // Atlas i opredelitel' pelagobiontov Baikala (s kratkimi ocherkami po ikh ekologii) [Guid and Key to Pelagic Animals of Baikal (with Ecological Notes)]. Novosibirsk: Publishing house Science, 1995. P. 431–477. (in Russian).

Sheveleva N.G., Pen'kova O.G. K mnogoletnei dinamike vesennego zooplanktona otkrytoi chasti proliva Maloe More (Baikal) [On long-term dynamics of the spring zooplankton of the open part of the Maloye More strait, Baikal Lake] // *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiological Journal]. 2016. Vol. 52, no. 4. P. 27–34. (in Russian).

Sheveleva N.G., Pen'kova O.G. Izmenenie struktury zooplanktona proliva Maloe More (oz. Baikal) na fone usileniya antropogennoi nagruzki (1993–2019 gg.) [Changes in the zooplankton structure of the Maloye More Strait (Lake Baikal) against the background of increasing anthropogenic load (1993–2019)] // *Razvitie zhizni v protsesse abioticheskikh izmenenii na Zemle* [Development of life in the process of abiotic changes on Earth]. 2023. No. 4. P. 155–158. doi: 10.24412/cl-34446-2023-4-155-158 (in Russian).

Carrea L., Woolway I.R., Merchant C.J., Dokulil M.T., DeGasperi C., Eyrto E.D. et al. Lake surface water temperature [in “State of the Climate in 2019”] // *Bull. Am. Meteor. Soc.* 2020. 101(8). P. S26–S28. doi: 10.1175/2020BAMSStateoftheClimate.1

Dunn R.J.H., Stanitski D.M., Gobron N. and Willett K.M., Eds., Global Climate [in “State of the Climate in 2019”] // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2020. 101(8). P. S9–S127. doi: 10.1175/BAMS-D-20-0104.1

Naumova E.Y., Alekseev V.R. How many generations does *Epischura baikalensis* (Copepoda, Calanoida) have in Lake Baikal? // *Crustaceana*. 2020. Vol. 93. P. 507–518. doi: 10.1163/15685403-00003981

Pilla R.M., Mette E.M., Williamson C.E. Adamovich B.V., Adrian R., Anneville O. et al. Global data set of long-term summertime vertical temperature profiles in 153 lakes // *Sci. Data*. 2021. Vol. 8. P. e200. doi: 10.1038/s41597-021-00983-y

SEASONAL DYNAMICS OF ZOOPLANKTON OF THE SOUTHERN BAIKAL PELAGIAL (OPPOSITE THE VILLAGE OF BOLSHIYE KOTY)

A.A. Demidova, O.O. Rusanovskaya, S.V. Shimaraeva, E.A. Silow

Research Institute of Biology, Irkutsk State University, Irkutsk,

*E-mail: dem.anastasia.a@mail.ru, rusanovskaya-o.o@mail.ru, shimaraeva@gmail.com,
eugenesilow@gmail.com*

*The results of the analysis of seasonal dynamics of zooplankton abundance in 2019 at the pelagic station in the Southern Basin of Lake Baikal (opposite the village of Bolshiye Koty) in the 0–50 layer is presented. The mean annual total zooplankton abundance was 1779.0 ± 191.2 thou. eq./m². Copepods made the greatest contribution to the total abundance of zooplankton – 61.2%; the share of rotifers was 38.3%, and cladocerans – 0.4%. *Epischura baikalensis* Sars, 1900 constituted 60.8% of the total abundance of zooplankton organisms. Peaks in zooplankton abundance were observed in February and from August to September.*

Key words: zooplankton; abundance; seasonal dynamics; species composition; Baikal; pelagial; monitoring.

Received December 17, 2024. Accepted: February 28, 2025

Сведения об авторах

Демидова Анастасия Андреевна – аспирант биолого-почвенного факультета, Иркутский государственный университет; младший научный сотрудник лаборатории общей гидробиологии Научно-исследовательского института биологии, Иркутский государственный университет. Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 3. ORCID: 0000-0001-7448-0199. E-mail: dem.anastasia.a@mail.ru.

Русановская Ольга Олеговна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории общей гидробиологии Научно-исследовательского института биологии, Иркутский государственный университет. Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 3. ORCID: 0000-0001-9328-0264. E-mail: rusanovskaya-o.o@mail.ru.

Шимараева Светлана Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией общей гидробиологии, Научно-исследовательский институт биологии, Иркутский государственный университет. Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 3. ORCID: 0000-0002-3477-1378. E-mail: shimaraeva@gmail.com.

Зилов Евгений Анатольевич – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории общей гидробиологии, Научно-исследовательский институт биологии, Иркутский государственный университет. Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 3. ORCID: 0000-0002-7039-3220. E-mail: eugenetilow@gmail.com.

Information about the authors

Demidova Anastasia Andreevna – third-year postgraduate student of Faculty of Biology and Soil Studies, Irkutsk State University; junior researcher of the Laboratory of General Hydrobiology, Research Institute of Biology, Irkutsk State University, 3 Lenin St., 664003 Irkutsk, Russia. ORCID: 0000-0001-7448-0199. E-mail: dem.anastasia.a@mail.ru.

Rusanovskaya Olga Olegovna – PhD in Biology, senior Researcher of the Laboratory of General Hydrobiology, Research Institute of Biology, Irkutsk State University, 3 Lenin St., 664003 Irkutsk, Russia. ORCID: 0000-0001-9328-0264. E-mail: rusanovskaya-o.o@mail.ru.

Shimaraeva Svetlana Vladimirovna – PhD in Biology, Head of the Laboratory of General Hydrobiology, Research Institute of Biology, Irkutsk State University, 3 Lenin St., 664003 Irkutsk, Russia. ORCID: 0000-0002-3477-1378. E-mail: shimaraeva@gmail.com.

Silow Evgeny Anatolyevich – Dr Sc. in Biology, professor, leading researcher of the Laboratory of General Hydrobiology, Research Institute of Biology, Irkutsk State University, 3 Lenin St., 664003 Irkutsk, Russia. ORCID: 0000-0002-7039-3220. E-mail: eugenetilow@gmail.com.

Раздел 5

Section 5

ИСПРАВЛЕНИЕ

ERRATUM

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17607

Исправления к статье «Российский одонтолог Б.Ф. Бelyшев и его наследие. В канун 115-летия со дня рождения»

О.Н. Попова

Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024; 75(4): 82–101

На странице 82 в Аннотации (на русском языке) вместо

«19.04.1993»

следует читать:

«09.04.1993»

На странице 101 в Аннотации (на английском языке) вместо

«12.13.1910 – 04.19.1993»

следует читать:

«13.12.1910 – 09.04.1993»

Оригинальная статья может быть найдена по DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17506

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17607

Erratum to “Russian odontologist B.F. Belyshev and his legacy: on the eve of the 115th anniversary of his birth”

O.N. Popova

Izvestiā Altajskogo otdeleniā Russkogo geografičeskogo obšestva = Bulletin of the Altay branch of the Russian geographical society. 2024; 75(4): 82–101. (in Russian)

Page 82, in Abstract (in Russian) instead of

“19.04.1993”

should read

“09.04.1993”

Page 101, in Abstract (in English) instead of

“12.13.1910 – 04.19.1993”

should read

“13.12.1910 – 09.04.1993”

The original article can be found under DOI: 10.24412/2410-1192-2024-17506

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(требования к работам, представляемым к публикации в «Известиях Алтайского отделения Русского географического общества»)

Журнал «Известия Алтайского отделения Русского географического общества» (далее «Известия АО РГО») публикует научные и научно-популярные статьи, посвященные географическим, геологическим, экологическим, фаунистическим и флористическим исследованиям, естественно-географическому образованию, краеведению, а также отражающие деятельность Русского географического общества. Авторы представляют статьи на русском языке, тщательно отредактированные. Прием авторских материалов и сообщений производится через информационную систему <http://rgo-journal.ru/>.

Периодичность издания «Известий АО РГО» – четыре раза в год.

Поступившие в журнал статьи проходят научное рецензирование. В журнале «Известия АО РГО» установлено анонимное рецензирование (автору/авторам не раскрываются личные данные рецензента). Поступившие от авторов научные статьи проходят первичный контроль на комплектность и правильность оформления в соответствии с Правилами направления статей. Первичная экспертная оценка научной статьи осуществляется главным редактором (заместителем главного редактора) или выпускающим редактором. Главный редактор (заместитель главного редактора или выпускающий редактор) определяет по статье рецензента члена редакционного совета, курирующего соответствующее направление (научную дисциплину). Рецензенты (как входящие в состав редакционного совета, так и внешние) должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемой статьи и иметь в течение последних 5 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Отзыв рецензента состоит из ответов на типовые вопросы анкеты и может содержать дополнительные расширенные комментарии. Кроме того, рецензент может вносить замечания и правки в текст рукописи. Авторам высылается электронная версия анкеты и комментарии рецензентов. Доработанный экземпляр автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром и ответом на все вопросы рецензента не позднее чем через 1 месяц после получения рецензии. Если статья рекомендована к публикации, она проходит редакционную подготовку: техническое редактирование, корректуру. Окончательный вариант статьи, подготовленной к публикации, согласовывается с автором (авторами). После выхода тиража каждому автору (соавтору), статья которого вошла в очередной номер, редакция высылает электронный экземпляр журнала.

Содержание номеров Известий АО РГО, аннотации и полнотекстовые электронные варианты статей, а также другая полезная информация, включая настоящие Правила, доступны на сайтах – <http://journal.rgo-altay.ru/>.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы обязаны сообщать о любых имеющихся или потенциально возможных конфликтах интересов. Конфликтом интересов может считаться любая ситуация, способная повлиять на автора рукописи и привести к сокрытию, искажению данных, или изменению их трактовки. О наличии или отсутствии конфликта интересов у одного или нескольких авторов сообщается в заявлении о подаче статьи к публикации. Выявленное редакцией сокрытие потенциальных и явных конфликтов интересов со стороны авторов может стать причиной отказа в рассмотрении и публикации рукописи.

Информация о конфликтах интересов или их отсутствии должна быть приведена в статье после «Выводов» в разделе «Конфликт интересов/ Conflict of interest» на русском и английском языках. Если конфликт интересов отсутствует, нужно указать: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПЛАГИАТ И ВТОРИЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Перед направлением статьи необходимо проверить ее на наличие заимствований. Общий объем текстового сходства не должен превышать 30% (уникальность должна быть более 70%).

Проверить статью на оригинальность можно при помощи сервисов <https://www.antiplagiat.ru/> (для русскоязычных текстов) и <http://www.plagiarism.org/> (для англоязычных текстов). Редакция оставляет за собой право проверки поступивших рукописей на плагиат.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ НА ПУБЛИКАЦИЮ В ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ АЛТАЙСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА»

№	Требование	Описание
1	Язык публикации	русский;
2	Перевод на английский и транслитерация	- название статьи (перевод), - ФИО авторов (перевод), - название организаций (перевод), - аннотация (перевод – «Abstract»), - ключевые слова (перевод – «Keywords»), - конфликт интересов (перевод – «Conflict of interest»), - список литературы («References»); для русскоязычных статей ФИО авторов в транслитерации; название журнала в транслитерации и в переводе в квадратных скобках; в конце в скобках указывается (in Russian). Библиографические описания прочих работ приводятся на языке оригинала (см. примеры оформления списка литературы).
3	К публикации принимаются	научные статьи, посвященные географическим, геологическим, экологическим, фаунистическим и флористическим исследованиям, естественно-географическому образованию, краеведению, а также отражающие деятельность Русского географического общества.
4	Оформление рукописей	Объем статьи (вместе со списком литературы, таблицами и рисунками) должен составлять до 30 тыс. печатных знаков (включая пробелы) для оригинальных статей, до 40 тыс. печатных знаков (включая пробелы) для обзорных статей. Статья оформляется шрифтом Times New Roman, кегель 12, межстрочный интервал 1,5. Выравнивание по обоим краям. Размер полей страницы – 2,5 см со всех сторон, отступ для абзаца – 0,7 см. Страницы статьи должны быть пронумерованы только для печатной версии, для электронного варианта – без нумерации страниц.

		Материал, представляемый на публикацию, должен быть проверен на орфографию и грамматику. Автоматический перенос слов использовать нельзя. Вся текстовая часть статьи должна быть записана в 1 файле (титульный лист, аннотация, ключевые слова, текст статьи, таблицы, рисунки, список литературы, сведения об авторах). Файл с текстом статьи должен быть назван по фамилии первого автора статьи (Иванов-текст.docx). Латинские названия и таксономию животных и растений выверять по: https://www.gbif.org. Названия таксонов рода и вида печатаются курсивом. Для флористических, фаунистических и таксономических работ при первом упоминании в тексте и таблицах приводится русское название вида (если такое название имеется) и полностью – латинское, с автором и желательно с годом, например: водяной ослик (<i>Asellus aquaticus</i> (L. 1758)). В дальнейшем можно употреблять только русское название или сокращенное латинское без фамилии автора и года опубликования. Все вводимые автором буквенные обозначения и аббревиатуры должны быть расшифрованы в тексте при их первом упоминании (но не в заголовке статьи или в резюме). Единицы физических величин приводятся по Международной системе СИ. В десятичных дробях употребляется точка: 0.54. Необходимо различать тире (как знак препинания) «–» и дефис (как часть слова) «-». Знак минуса обозначается с помощью дефиса, например, -50С. Знаки процента, промилле и градусов указывается без отрыва от числа, например, 15%. Прочие размерности отделяются от чисел, например, 10 кг, 100 экз. и т.д.
5	Оформление титула статьи (заголовок, авторы, организации)	На первой странице оформляется титул статьи: 1) индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК), на первой странице, в левом верхнем углу; 2) название статьи (прописными буквами, полужирным шрифтом, выравнивание – по центру), должно кратко, но максимально точно отражать затронутую проблему; 3) инициалы и фамилии авторов (по центру); 4) полное название организации – места работы каждого автора в именительном падеже на русском языке, курсивом, по центру. Если авторов несколько и работают они в разных учреждениях, следует отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов учреждениям, в которых они работают; если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно; 5) e-mail для каждого автора. Титул оформляется на русском и английском языках.

6	Аннотация и ключевые слова	Аннотация к статье является основным источником информации, она должна создавать полное представление о содержании статьи. Аннотация должна быть написана единым текстом без разделения на абзацы, курсивом, выравнивание – по ширине, иметь объем не менее 600 знаков. Отдельной строкой приводится перечень ключевых слов (не менее 5). Ключевые слова перечисляются через точку с запятой, в конце перечисления ставится точка. Аннотация и ключевые слова должны быть представлены как на русском, так и на английском языках.
7	Структура статьи	Оригинальная статья должна быть структурирована по следующим разделам: - актуальность проблемы; - цель исследования; - материалы и методы; - результаты и обсуждение (отдельным разделом, приводится сопоставление результатов собственных исследований с литературными данными с указанием ссылок на источники); - выводы или заключение; - список литературы Для статей, представляющих собой обзоры литературы, также должны быть выделены разделы.
8	Требования к рисункам	Рисунки размещаются в тексте статьи, непосредственно после ссылки на них в тексте. Каждый рисунок должен быть четким и читаемым с расширением TIFF (*.TIF) или JPG, с разрешением 300 dpi и выше. Подпись приводится после рисунка и должна содержать порядковый номер рисунка (при его наличии) и его название, кегель 10. В тексте статьи каждый рисунок должен сопровождаться ссылкой (рис. 1, рис. 2, и т.д.). Аббревиатуры расшифровываются в подрисуночных подписях, детали на рисунках следует обозначать цифрами или буквами, значение которых также приводится в подписях. Названия рисунков дублируются на английском языке.
9	Требования к таблицам	Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Диаграммы и графики не должны дублировать таблицы. Таблицы размещаются в тексте статьи в непосредственной близости от ссылки на них в тексте. Над таблицей справа необходимо обозначить номер таблицы (если таблица одна, номер не указывается, а пишется слово «Таблица»), ниже по центру дается ее название.

		Сокращения слов в таблицах не допускаются. Все цифры в таблицах должны соответствовать цифрам в тексте. Все сокращения, использованные в таблице, поясняются в Примечании, расположенном под ней. Названия таблиц дублируются на английском языке. Таблица оформляется шрифтом Times New Roman, кегель 10. В тексте статьи каждая таблица должна сопровождаться ссылкой (табл. 1, табл. 2, и т.д.).
10	Требования к формулам	Математические формулы следует представлять в виде редактируемого текста, а не в виде изображений. После каждой формулы должна приводиться расшифровка буквенных обозначений.
11	Требования к списку литературы	Библиографические ссылки в тексте статьи оформляются в квадратных скобках, указывается фамилия/ии автора/ов и год издания, например: ТЕКСТ, ТЕКСТ, ТЕКСТ [Иванов, 1996]. Если ссылок несколько, они оформляются в хронологическом порядке. В случае дословной цитаты, указывается также номер страницы приведенной цитаты, т.е. «ТЕКСТ, ТЕКСТ, ТЕКСТ ...» [Иванов, Петров, 1999, с. 5]. Если авторов 3 и более, указывается первый автор и др. [Иванов и др., 1996]. Если фамилия автора используется в тексте: ТЕКСТ, ТЕКСТ, ТЕКСТ ... по данным И.И. Иванова [1996] или ... И.И. Иванова с соавт. [1996]. Если источник не имеет авторов: ТЕКСТ, ТЕКСТ, ТЕКСТ [Методика..., 2005] или в тексте – ... «Методика отбора проб...» [2005]. Список литературы оформляется в алфавитном порядке по фамилиям авторов и в хронологическом порядке – работы одного автора. Пристатейные ссылки и списки пристатейной литературы следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления (http://www.bookchamber.ru/GOST_P_7.0.5.-2008). Список работ представляется в алфавитном порядке. Все ссылки даются на языке оригинала (названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский шрифт, пишутся в русской транскрипции). Сначала приводится список работ на русском языке и на языках с кириллическим алфавитом, а затем – работы на языках с латинским алфавитом. После статьи приводятся сразу два списка литературы. Первый список на русском языке «Список литературы». Второй список «References», приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Описания русскоязычных работ указываются в латинской транслитерации, рядом в квадратных скобках помещается их перевод на английский язык. Выходные данные приводятся на английском языке (допускается транслитерация названия издательства).

		При наличии переводной версии источника можно указать его библиографическое описание вместо транслитерированного. Библиографические описания прочих работ приводятся на языке оригинала. Для составления списка рекомендуется использование бесплатных онлайн-сервисов транслитерации, вариант BSI.
--	--	---

Примеры оформления:

УДК 556.535:004.9(571)

ЛАНДШАФТЫ БАССЕЙНА РЕКИ ...

И.И. Иванов¹, П.П. Петров²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: ivanov@iwep.ru

²Алтайский государственный университет, Барнаул, E-mail: petrov@asu.ru

Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация...
Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация...

Ключевые слова: ключевые слова; ключевые слова; ключевые слова; ключевые слова.

ТЕКСТ... ТЕКСТ... ТЕКСТ... [Иванов, 1996]. ТЕКСТ... [Петров, 1998]. ТЕКСТ...
ТЕКСТ... [Иоганзен, Петкевич, 1974]. ТЕКСТ... ТЕКСТ... [Патрушева и др., 2000].

УДК 556.535:004.9(571)

LANDSCAPES OF THE ... RIVER BASIN

I.I. Ivanov¹, P.P. Petrov²

¹Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, E-mail: ivanov@iwep.ru

²Altai State University, Barnaul, E-mail: petrov@asu.ru

Annotation... Annotation... Annotation... Annotation... Annotation... Annotation...
Annotation... Annotation... Annotation... Annotation ...Annotation... Annotation...
Annotation... Annotation... Annotation...

Keywords: keywords; keywords; keywords; keywords; keywords; keywords; keywords;
keywords.

ОФОРМЛЕНИЕ «СВЕДЕНИЙ ОБ АВТОРАХ»

ФИО – полностью на русском и английском языке; полный почтовый адрес каждой организации (страна, город) на русском и английском языке (как оно представлено в официальных документах и/или на официальном сайте); должности, ученые звания, ученые степени авторов; ORCID и адрес электронной почты для каждого автора; телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов).

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки на книги

Водоемы Алтайского края / Ред. В.П. Соловов. Новосибирск: Наука, 1999. 285 с.

Гундризер А.Н., Иоганзен Б.Г., Кафанова В.В., Петлина А.П. Ихтиология и гидро-биология в Западной Сибири. Томск: ТГУ, 1982. 318 с.

Knorre D.G., Laric O.L. Theory and practice in affinity techniques / Eds. P.V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y. San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

В транслитерированном списке литературы:

Vodoemy Altaiskogo kraia [Water bodies of the Altai Territory] / Ed. V.P. Solovov. Novosibirsk: Nauka, 1999. 285 p. (in Russian).

Gundrizer A.N., Ioganzen B.G., Kafanova V.V., Petlina A.P. Ikhtiologiya i gidrobiologiya v Zapadnoi Sibiri [Ichthyology and hydrobiology in Western Siberia]. Tomsk: TGU, 1982. 318 p. (in Russian).

Knorre D.G., Laric O.L. Theory and practice in affinity techniques. N.Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

Зарубина Е.Ю., Яныгина Л.В., Бурмистрова О.С., Митрофанова Е.Ю., Ким Г.В., Котовщиков А.В., Крылова Е.Н., Ковешников М.И. Литоральные биоценозы как один из факторов устойчивости экосистемы Телецкого озера // Ползуновский вестник. 2005. № 4. Ч. 2. С. 201–207.

Попов П.А., Ермолаева Н.И., Киприянова Л.М., Митрофанова Е.Ю. Состояние гидробиоценозов высокогорий Алтая // Сиб. экол. журн. 2003. Т. 10, № 2. С. 181–192.

Vasiliev O.F., Papina T.S., Eyrikh S.S., Sukhenko S.A. Mercury in the Katun river basin: A case study of a naturally polluted system // Global and Regional Mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass Balances / Eds W. Baeyens, R. Ebinghaus, O. Vasiliev. Dordrecht: Springer, 1996. P. 273–284. doi: 10.1007/978-94-009-1780-4

В транслитерированном списке литературы:

Zarubina E.Yu., Yanygina L.V., Burmistrova O.S., Mitrofanova E.Yu., Kim G.V., Kotovshchikov A.V., Krylova E.N., Koveshnikov M.I. Litoral'nye biotsenozy kak odin iz faktorov ustoichivosti ekosistemy Teletskogo ozera [Litoral biocenoses as one of the factors of the ecosystem stability of Lake Teletskoy] // Polzunovskii vestnik [Polzunovsky Bull.]. 2005. no. 4. Ch. 2. P. 201–207. (in Russian).

Popov P.A., Ermolaeva N.I., Kipriyanova L.M., Mitrofanova Ye.Yu. Sostoyanie gidrobiotsenozov vysokogorii Altaya [The state of hydrobiocenoses of the high mountains of Altai] // Sib. ekol. zhurn. [Sib. Ecol. J.]. 2003. Vol. 10, no. 2. P. 181–192. (in Russian).

Vasiliev O.F., Papina T.S., Eyrikh S.S., Sukhenko S.A. Mercury in the Katun river basin: A case study of a naturally polluted system // Global and Regional Mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass Balances / Eds W. Baeyens, R. Ebinghaus, O. Vasiliev. Dordrecht: Springer, 1996. P. 273–284. doi: 10.1007/978-94-009-1780-4

Ссылки на материалы конференций

Крылова Е.Н. Олигохеты озер плоскогорья Укок и Джулукульской котловины // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Матер. II Междунар. конф. (22–26 сентября 2003 г., Беларусь). Нарочь, 2003. С. 445–448.

В транслитерированном списке литературы:

Krylova E.N. Oligokhety ozer ploskogor'ya Ukok i Dzhulukul'skoi kotloviny [Oligokhety lakes of the Ukok plateau and the Dzhulukul basin] // Ozernye ekosistemy: biol. protsessy, antropogennaya transformatsiya, kachestvo vody: Mat. II Mezhdunar. konf. (22–26 sent. 2003 g.) [Lake ecosystems: biol. processes, anthropogenic transformation, water quality: Proceed. II int. conf. (Sept. 22–26, 2003)]. Naroch', 2003. P. 445–448. (in Russian).

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

Селезнева М.В. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища по структурно-функциональным показателям сообществ макрозообентоса: Автореф дис... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 21 с.

Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

В транслитерированном списке литературы:

Selezneva M.V. Otsenka sovremennogo ekologicheskogo sostoyaniya Novosibirskogo vodokhranilishcha po strukturno-funktsional'nym pokazatelyam soobshchestv makrozoobentosa [Assessment of the current ecological state of the Novosibirsk reservoir according to structural and functional indicators of macrozoobenthos communities]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Novosibirsk, 2005. 21 p. (in Russian).

Lozovik P.A. Hidrogeokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoichivosti k antropogennomu vozdeystviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact]: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk, 2006. 481 p. (in Russian).

Ссылки на патенты

Патент РФ № 2000130511/28. 04.12.2000.

Еськов Д.Н., Серегин А.Г. Оптико-электронный аппарат: Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

В транслитерированном списке литературы:

Patent RF № 2000130511/28. 04.12.2000 [Russian patent No. 2000130511/28. December 4, 2000]. (in Russian).

Es'kov D.N., Seregin A.G. Optiko-elektronnyi apparat [Optoelectronic apparatus]: Patent Rossii № 2122745 [Russian patent No. 2122745]. 1998. Bulletin No. 33. (in Russian).

Ссылки на архивные материалы

Гребенщиков Я.П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. Ф. 41. Ед. хр. 45. Л. 1–10.

В транслитерированном списке литературы:

Grebenshchikov Ya.P. K nebol'shomu kursu po bibliografii: materialy i zametki, 26 fevr. – 10 marta 1924 g. [Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924]. OR RNB. F. 41. St. un. 45. L. 1–10. (in Russian).

Ссылки на интернет-ресурсы

Ильина И.В. Правила оформления списка литературы и References // Вестник ТГУ. 2016. №12 (164). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravila-oformleniya-spiska-literatury-i-references> (дата обращения: 22.07.2020).

Демография. Официальная статистика / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).

В транслитерированном списке литературы:

Ilina I.V. Pravila oformleniya spiska literatury i References [Rules for registration of the list of references and references]. Vestnik TGU [Bulletin of TSU]. 2016, no. 12 (164). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravila-oformleniya-spiska-literatury-i-references> (accessed: 22.07.2020).

Demografiya. Oficial'naja statistika [Demography. Official statistics]. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal state statistics service]. URL: <http://www.gks.ru/> (accessed: 25.12.2015).

Журнал
Известия Алтайского отделения
Русского географического общества

№ 1 (76) 2025

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 28.03.2025. Дата выхода в свет 31.03.2025.

Формат 60х84 1/8. Печать – цифровая. П.л. 12.38

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+