

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

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

Журнал
декабрь 2023
Основан в 1961 году

ISSN 2410-1192
№ 4 (71)
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
Веснина Л.В., д.б.н., 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
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
Попов П.А., д.б.н., проф., г. Новосибирск
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>
Регистрационный номер СМИ ПИ № ТУ22-00790 от 31.08.2021.

Подписной индекс в каталоге Роспечати 95004
© Известия Алтайского отделения Русского географического общества, 2023
г. Барнаул – 2023

FOUNDER AND PUBLISHER – ALTAY REGIONAL BRANCH
RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

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

[IZVESTIYA ALTAYSKOGO OTDELENIYA RUSSKOGO
GEOGRAFICHESKOGO OBSHCHESTVA (IZVESTIYA AO RGO)]

Journal
December, 2023
Founded in 1961

ISSN 2410-1192
No 4 (71)
4 issues per year

EDITORIAL BOARD

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

DEPUTY CHIEF EDITORS:

DrSc Dmitry M. Bezmaternyh (Barnaul, Russia) DrSc Tat'yana S. Papina (Barnaul, Russia)

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

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

Prof. V.A. Androkhonov (Novosibirsk, Russia)
Prof. A.I. Chernyshov (Tomsk, Russia)
Acad. RAS Prof. A.A. Chibilyov (Orenburg, Russia)
Prof. A.N. Dunets (Barnaul, Russia)
Prof. S.A. Dvinskikh (Perm, Russia)
Prof. O.A. Elchinina (Gorno-Altaysk, Russia)
Prof. E.Zh. Garmaev (Ulan-Ude, Russia)
Prof. A.I. Gusev (Biysk, Russia)
Prof. Ya.M. Gutak (Novokuznetsk, Russia)
Prof. L.I. Inisheva (Tomsk, Russia)
Prof. Yu.B. Kirsta (Barnaul, Russia)
Prof. L.A. Komarova (Biysk, Russia)
Prof. B.I. Kochurov (Moscow, Russia)
Prof. S.A. Kurolap (Voronezh, Russia)
Prof. M.P. Mazurov (Novosibirsk, Russia)

Prof. P.A. Popov (Novosibirsk, Russia)
Prof. V.V. Rudsky (Moscow region, Russia)
Prof. I.D. Rybkina (Barnaul, Russia)
Prof. O.G. Savichev (Tomsk, Russia)
Prof. N.V. Sennikov (Novosibirsk, Russia)
Prof. V.V. Sevastyanov (Tomsk, Russia)
Prof. M.G. Sukhova (Gorno-Altaysk, Russia)
Prof. A.I. Syso (Novosibirsk, Russia)
Prof. L.V. Vesnina (Barnaul, Russia)
Prof. Yu.I. Vinokurov (Barnaul, Russia)
Prof. E.N. Yadrenkina (Novosibirsk, Russia)
DrSc L.V. Yanygina (Barnaul, Russia)
DrSc 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>
Certificate of mass media registration of Russian Federation ПИ No TY22-00790 from 31.08.2021

Subscription index in «Rospechat» catalogue 95004

© Bulletin of the Altay branch of the Russian Geographical society, 2023

Barnaul – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

РАЗДЕЛ 1. ГЕОЛОГИЯ

<i>Высоцкий Е.М.</i> СКАЛЬНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ В ИСТОКАХ РЕКИ УКТАНАШ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ).....	5
---	---

РАЗДЕЛ 2. ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

<i>Акулова О.Б., Букатый В.И., Марусин К.В.</i> МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОЗЕРА КРАСИЛОВСКОЕ.....	15
<i>Кирста Ю.Б., Трошкова И.А.</i> ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВЕСЕННИЕ ПОЛОВОДЬЯ ГОРНЫХ РЕК.....	25
<i>Цхай А.А., Романов М.А.</i> ОБ УСЛОВИЯХ ПРОТЕКАНИЯ ЦИКЛОВ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕЛЕЦКОМ ОЗЕРЕ: АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	40

РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

<i>Бабошкина С.В., Рождественская Т.А., Пузанов А.В., Трошкова И.А., Пеленева М.П., Балыкин С.Н.</i> ЖЕЛЕЗО В ПОЧВЕННЫХ РАСТВОРАХ ГОРНО-ЛЕСНЫХ ПОЧВ БАСЕЙНА ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА.....	61
<i>Попов П.А.</i> К ЭКОЛОГИИ ОБЫКНОВЕННОГО ЕРША ИЗ ВОДОЕМОВ СИБИРИ.....	80

ХРОНИКА СОБЫТИЙ

<i>Носкова А.В.</i> ДЕЛО ГЕОЛОГОВ.....	97
--	----

CONTENTS

SCIENTIFIC REPORTS

SECTION 1. GEOLOGY

<i>Vysotsky E.M.</i> ROCK AVALANCHE IN THE HEADWATERS OF THE RIVER UIKARATASH (GORNÝ ALTAI).....	5
--	---

SECTION 2. HYDROLOGY. CLIMATE

<i>Akulova O.B., Bukaty V.I., Marusin K.V.</i> LONG-TERM DYNAMICS OF SPECTRAL WATER TRANSPARENCY IN THE SURFACE LAYER OF LAKE KRASILOVSKOYE.....	15
--	----

<i>Kirsta Y.B., Troshkova I.A.</i> INFLUENCING METEOROLOGICAL FACTORS ON SPRING FLOODS OF MOUNTAIN RIVERS.....	25
--	----

<i>Tskhai A.A., Romanov M. A.</i> ON THE CONDITIONS OF BIOGENIC CYCLES IN LAKE TELETSKOYE: DATA ANALYSIS FOR MODELING....	40
---	----

SECTION 3. ECOLOGY. FLORA. FAUNA

<i>Baboshkina S.V., Rozhdestvenskay T.A., Puzanov A.V., Troshkova I.A., Peleneva M.P., Balykin S.N.</i> IRON IN SOIL SOLUTIONS OF MOUNTAIN-FOREST SOILS OF THE LAKE TELETSKOYE BASIN.....	61
---	----

<i>Popov P.A.</i> TO THE ECOLOGY OF THE COMMON RUFF FROM THE RESERVOIRS OF SIBERIA.....	80
---	----

CHRONICLE OF EVENTS

<i>Noskova A.V.</i> THE CASE OF GEOLOISTS.....	97
--	----

Раздел 1

ГЕОЛОГИЯ

Section 1

GEOLOGY

УДК 551.435.6

СКАЛЬНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ В ИСТОКАХ РЕКИ УЙКАРАТАШ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Е.М. Высоцкий

ООО «Сибгеоклуб», Новосибирск, E-mail: evysotsky@sibgeoclub.ru

Исследовано строение скального оползня в истоках реки Уйкараташ (Сумультинский хребет), площадь которого составила 0.84 км², объем 8–9 млн м³. Стенка отрыва треугольной формы образована двумя скальными бортами с падением навстречу друг другу. Область отрыва расположена на высоте 2030 метров н.у.м., длина оползня по линии смещения составила 1750 м, максимальная ширина – 1350 м. Видимая высота стенки отрыва достигает 120 метров. По космическим снимкам установлено, что оползень сформировался в период с 25 мая по 3 июня 2014 года. Анализ сейсмических и климатических событий показал, что причиной формирования оползня стало критическое нагружение блока тектонически раздробленных вулканогенно-осадочных пород экстремальными атмосферными осадками.

Ключевые слова: скальный оползень; Алтай; Уйкараташ; Сумультинский хребет.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-17101

Дата поступления: 23.08.2023. Принята к печати: 05.09.2023

При подготовке к экспедиции от реки Катунь до Телецкого озера по легендарному туристическому маршруту № 77 в отчетах встретились фотографии необычного оползня с треугольной скальной стенкой отрыва в борту долины правого притока реки Уйкараташ [Храмцова...]. Часть не слишком крутого залесенного склона как будто «выпала», оставив у подножья оползневое тело, запрудившее небольшой водоток и перекрывшее тропу, по которой, несмотря на удаленность района от населенных пунктов, в течение лета регулярно проходят группы туристов, посещая расположенные чуть выше по

долине Форелевые озера. Значительные размеры и скальная стенка отрыва оползня в районе с относительно слабой сейсмической активностью вызвали вопросы о причинах его образования. Изучение строения оползня, выявление времени и причин его формирования стали одной из задач экспедиции, результаты работ приводятся в настоящей статье.

Методика исследований

Время схода оползня было определено с использованием Интернет-сервиса, позволяющем просматривать ряды космических снимков по датам [Landsat...]. Установле-

но, что оползень сошел в период с 25 мая по 3 июня 2014 года. Полевые работы, включавшие обследование оползня и прилегающих долин, проведены в начале августа 2020 года. Сведения о зарегистрированных сейсмических событиях взяты из публикаций Единой геофизической службы РАН, метеорологические данные – из публикаций, приведенных в списке использованной литературы.

Результаты

Геолого-геоморфологическая характеристика района. Оползень сошел со склона по правому борту правого притока реки Уйкараташ в ее верхнем течении (Рис. 1). Породы основания в этом районе представлены сложным по строению, разнообразным по составу, фациально изменчивым комплексом вулканогенно-осадочных пород Уйкараташской и Сарагашской свит среднего девона. Оса-

дочный комплекс осложнен субвулканическими интрузиями того же возраста, представленными силлами и дайками диабазовых порфиритов, а также плагиоклаз-роговообманковых диорит-порфиров, которые интерпретируются как подводящие каналы эффузивных покровов [Геологическая..., 1965]. Разрывные нарушения, относящиеся к Телецко-Курайской зоне разломов общего субмеридионального здесь простирания, представлены «широкими (до 1 км) зонами с целой серией разрывов, характерной особенностью которых является виргация» [Геологическая ..., 1965, стр. 57].

Геоморфологическое строение участка относительно простое. Река Уйкараташ течет на юг-юго-восток вдоль восточного склона Сумультинского хребта, высотные отметки которого достигают 2600–2700 метров над уровнем моря.

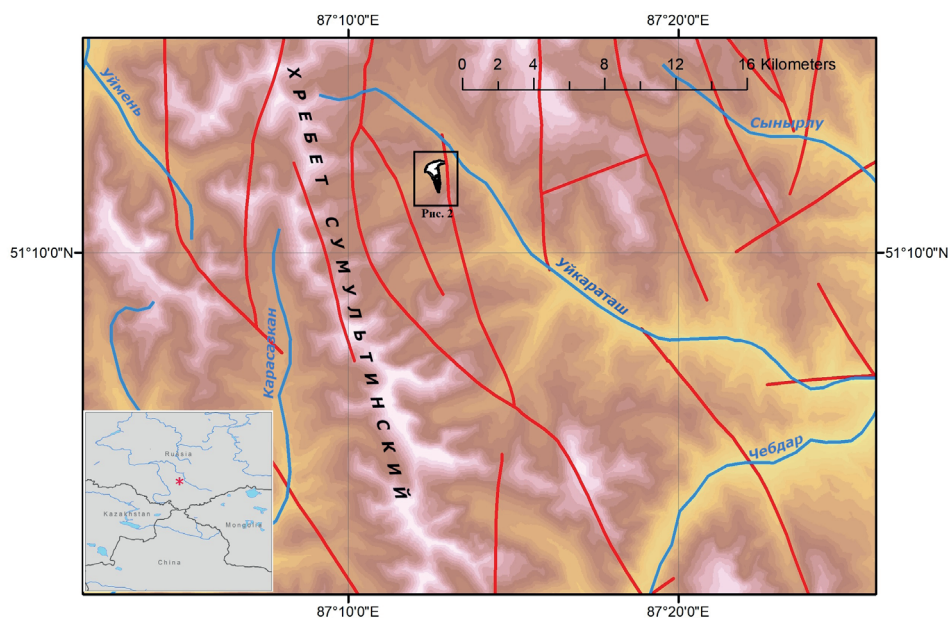


Рис. 1. Цифровая модель рельефа района исследований. Красными линиями показаны разломы [Геологическая..., 1965]. Черным прямоугольником показан район рисунка 2, оползень показан в реальном масштабе.

Fig. 1. Digital elevation model of the studied area. The red lines show the faults [Geologicheskaja..., 1965]. The black rectangle shows the area of Figure 2, the rock avalanche is shown in real scale.

В верхнем течении долина ледниковая: в истоках, примыкающих к осевой части водоразделов, – это широкая долина с пологими и средней крутизны склонами, которая была полностью заполнена ледником первой стадии последнего оледенения.

Несколько выше притока с оползнем магистральная долина обретает вид трога с пологим днищем шириной 600–800 м и крутыми бортами высотой 400–600 м. Все правые притоки при этом вытекают из каровых долин восточного склона Сумультинского хребта, сформированных во вторую стадию последнего оледенения. Кары имеют хорошо сохранившиеся скальные борта; при ширине до 1.5 км их длина составляет 1.6–4 км, в нижней части они замкнуты хорошо выраженными моренными валами. Характерно, что других оползней или обвалов в этом районе, будь то древних или современных, не зафиксировано.

Строение оползня. Оползень сошел со слегка вогнутого склона северо-западной экспозиции (азимут падения около 320°), уклон которого в верхней части и в области отрыва составляет $25\text{--}28^\circ$ (Рис. 2).

Стенка отрыва треугольной формы образована двумя сплошными скальными бортами с падением навстречу друг другу под углами от 50° до 80° (Рис. 3а). Область отрыва расположена на высоте 2030 метров при высоте склона около 2250 м н.у.м. Нижняя точка (в тальвеге долины по линии смещения основной части оползневого тела) имеет высоту 1730 м н.у.м. Фронтальная часть оползневого тела поднялась на противоположный борт долины на высоту до 40 м (Рис. 3б), запрудив водоток и растеклась в обе стороны, заметно больше – вниз по долине (Рис. 3с).

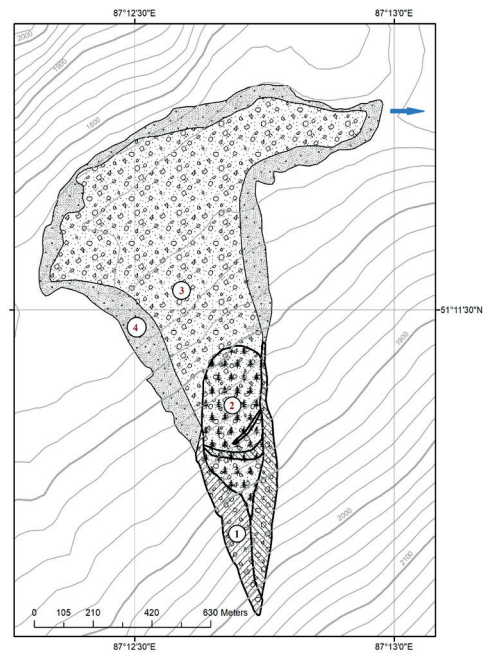


Рис. 2. Схема строения оползня. Цифрами в кружках обозначены: 1 – стенка отрыва; 2 – основная, массивная часть оползневого тела со вторичными стенками отрыва; 3 – разрушенная часть оползневого тела; 4 – боковые и фронтальный шлейфы. Горизонтالي соответствуют исходному рельефу

Fig. 2. Scheme of the rock avalanche structure.

The numbers in the circles indicate: 1 – the breakaway scarp; 2 – the main, massive part of the landslide body with secondary separation walls; 3 – disintegrated part of the landslide body; 4 – the edge and front loops of loose material. Horizontals correspond to the original relief

Таким образом, длина оползня по линии смещения составила 1750 м (включая область отрыва), максимальная ширина по нижней части долины – 1350 м, ширина по нижней части стенки отрыва (вдоль склона) – 370 м. Видимая высота стенки отрыва достигает 120 метров. Площадь оползня составила 0.84 км^2 .

Оползневое тело состоит из трех основных частей: первая, наименее разрушенная, часть под стенкой отрыва, площадью 0.09 км^2 , с участками леса и травянистой растительности на поверхности, рассечена двумя вторичными стенками отрыва – верхняя высотой

порядка 20–30 м рассекает оползневое тело поперек линии движения оползня, ниже ещё одна вторичная стенка отрыва кулисно прислонена к первичной стенке отрыва, доходя до середины оползневого тела. Фронт этой части оползневого тела поднят над склоном на высоту 80–90 метров, образуя площадку с падением 10° в

сторону склона (Рис. 3 d, e). Вторая часть оползневого тела представляет собой примыкающий к первой части массив из дезинтегрированных обломков коренных пород размером до первых метров в поперечнике, утончающийся вниз по ходу движения, и растекшийся в обе стороны от неё, преимущественно вниз по долине.



a



b



c



d



e

Рис. 3. Фотографии оползня (август 2020 года): a – стенка отрыва; b – фронтальная часть оползневого тела; c – нижняя часть оползневого тела, вид вниз по долине; d, e – стенка отрыва и верхняя часть оползневого тела

Fig. 3. Photos of rock avalanche (August 2020): a – the breakaway scarp; b – frontal part; c – lower part of the landslide body, view down the valley; d, e – the breakaway scarp and upper part of the landslide body

Третья, наименее мощная, часть оползневого тела представлена боковыми шлейфами шириной около 20 м ниже скальной стенки отрыва и обрамляющим нижнюю часть оползня неоднородным, иногда прерывистым шлейфом и передовым валом высотой до 2 м из обломков коренных пород, вовлеченных рыхлых отложений и вывалов деревьев. Следует отметить наличие в передовой части оползневого тела конусовидных тел диаметром около 2 метров, сложенных рыхлыми отложениями (Рис. 4): подобные отмечены нами в нижней части сейсмообвала, связанного с Чуйским землетрясением 27.09.2003 года [Агатова и др., 2004] – тогда блоки скованных мерзлотой моренных отложений откатились от тела обвала, оставив загадочные конусы после таяния мерзлоты.

Тонкие боковые шлейфы, почти закрытые растительностью через 6 лет после схода оползня, форма нижней части оползневого тела, наличие в её обрамлении сглаженных гряд и валов более мелкого

материала, а также различные гряды крупных обломков на поверхности завернутой вниз по долине части оползня, свидетельствуют о значительном увлажнении массива пород в момент схода оползня. При этом запруженный водоток к моменту посещения полностью промыл себе путь под телом оползня.

Основная часть оползневого тела ориентирована не по линии падения склона (азимут 40° – 50°), а в направлении, соответствующему простиранию восточной стенки отрыва (азимут простирания варьирует в пределах 10° – 20° , азимут падения СЗ 270° – 280° , угол 50° – 65°). Эта стенка, вероятно, почти полностью представляет собой границу интрузивного тела с зеркалом скольжения, которое и стало плоскостью срыва. Дезинтегрированную часть оползневого тела составляют изометричные угловатые обломки туфопесчаников и туфоконгломератов размером до первых десятков сантиметров в поперечнике, реже – до 2–3 метров.



Рис. 4. Общий вид скального оползня. На переднем плане виден конус рыхлого материала
Fig. 4. General view of the rock avalanche. A cone of loose material is visible in the foreground, indicating the presence of permafrost

По форме обломков и в стенках отрыва четко различима сеть трещин отдельности, иногда – со следами трения, и, часто, с ожелезнением как по трещинам отдельности, так и в массе пород. По одной из плоскостей отдельности осадочных пород и сформировалась западная стенка отрыва оползня.

Описанное строение оползня, включая стенку отрыва и оползневое тело, не оставляет сомнений в том, что это пример скального оползня, сформированного по границе разных по физическим свойствам горных пород в условиях интенсивной тектонической раздробленности. Строение оползневого тела, когда основная его часть примыкает к стенке отрыва и при этом рассечена вторичными стенками отрыва, позволяет предположить, что нижняя часть склона не нарушена. Исходя из этого объем оползня был рассчитан как объем пирамиды, грани которой образуют стенки отрыва и исходный склон с известной морфологией, и оценивается в 8–9 млн м³.

Исходный склон, как показано на

рисунке 2, в нижней части выполаживался с отчетливым перегибом уклона профиля от 25–28° до 15–17°. Для ледниковой долины оправдано предположить, что нижняя часть склона покрыта боковой мореной и осыпными отложениями. Именно чуть ниже перегиба склона и «повисла» основная часть оползневого тела (Рис. 5). По распределению обломочного материала в оползневом теле мы имеем дело с прыгающим (трамплинным) скальным оползнем или каменной лавиной с фронтальным ограничением [Стром, 2017], что обусловлено не подрезанной нижней частью склона, а особенностью геологического строения, приведшей к отрыву блока скальных пород в средней части склона (консеквентный оползень по Ф.П. Саваренскому [1939]).

Обсуждение

Среди причин образования оползней и обвалов в Горном Алтае в первую очередь рассматриваются сейсмические события [Рогожин и др., 1999; Непоп, Агатова, 2006].



Рис. 5. Вид на скальный оползень вверх по долине
Fig. 5. View of the rock avalanche up the valley

Однако во время схода оползня, в период с 25 мая по 3 июня 2014 года, значимых сейсмических событий в регионе не произошло: землетрясения в пределах Горного Алтая имели магнитуды менее 2. Территориально наиболее близкое событие с $M=1.2$ зарегистрировано 26.05.2014 в 19:49 в Айгулакском хребте [Землетрясения...]. Отсутствие локального сейсмического воздействия подчеркивается отсутствием других оползней, обвалов и даже обновленных осыпей в скальных бортах каровых долин. Лишь в районе Зайсанской впадины 31 мая 2014 г. в 8h12m произошло землетрясение с $ML=4.8$ [Еманов и др., 2020]. Столь удалённое событие едва ли могло стать причиной схода оползня, хотя нельзя полностью исключить его макросейсмическое воздействие на рассматриваемый участок регионального разлома [см., например, Рогожин и др., 2013].

Климатические события этого периода времени, в отличие от сейсмических, имели не просто значимые, но критические отклонения от нормы. По данным гидрометеорологических наблюдений в период с 25 по 31 мая 2014 года в регионе выпало аномальное количество осадков (272–477% от среднедекадной нормы в целом по региону, в том числе: 416% по метеостанции Чемал, 391% по метеостанции Улаган), что привело к возникновению критической паводковой ситуации. При этом отмечено, что снегозапасы весной 2014 года были меньше среднегодовых значений [Зиновьев и др., 2015; Сухова, Никольченко, 2015; Ямбаркин, 2016]. Масштабные размывы и завалы в руслах зафиксированы в ходе полевых работ

и хорошо различимы на космических снимках в верхних течениях рек Уймень, Карасазкан, Уйкараташ, Сынырлу, окружающих место схода оползня. С экстремальными осадками этого периода времени связано и образование Сентелекского оползня в Северо-Западном Алтае [Горбатова, 2015], хотя и в иных географических и геологических условиях.

Совокупность наблюдений позволяет заключить, что основной причиной схода оползня Уйкараташ стало критическое нагружение атмосферными осадками интенсивно раздробленных метаморфизованных туфопесчаников.

Заключение

Скальный оползень в верховьях реки Уйкараташ весьма необычен, поскольку сформировался далеко от зоны современного оледенения, с деградацией которого связана большая часть подобных явлений. К образованию оползня привело сочетание ряда причин, главными из которых стали геологическое строение локального участка и воздействие на него экстремальных атмосферных осадков. Крутой склон ледниковой долины выработан поперек региональной разломной зоны с интенсивным дроблением вулканогенно-осадочных пород по косо ориентированным вниз по склону плоскостям трещиноватости. Нагружение туфопесчаников дождевыми осадками привело к срыву значительного блока этих пород по границе менее проницаемого интрузивного тела. Какую-то роль, вероятно, сыграло промерзание склона, о чем свидетельствуют характерные микроформы рельефа во фронте оползневого тела.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Автор благодарен В.Г. Чурсину за терпение к геолого-геоморфологическим наблюдениям и неизвестному рецензенту за конструктивные замечания к рукописи.

Список литературы

Агатова А.Р., Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Гибшер А.С. Геоморфологические эффекты землетрясений 27 сентября и 1 октября 2003 года в Горном Алтае // Геоморфология. 2004. № 3. С.3–12. doi: 10.15356/0435-4281-2004-3-3-12

Горбатова О.Н. О Сентелекском оползне 2014 года // Известия АО РГО. 2015. № 2 (37). С. 29–32.

Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Горно-Алтайская. Лист М-45-Х. Объяснительная записка / Ред. Ренгартен П.А. М.: Недра, 1965. 96 с.

Землетрясения России. База данных / ФГБУН ФИЦ Единая геофизическая служба РАН [Электронный ресурс]. URL: <http://eqru.gsras.ru> (дата обращения 30.11.2022).

Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Дьяченко А.В., Коломейцев А.А. Экстремальный дождевой паводок 2014 года в бассейне Верхней Оби: причины, прогноз и натурные наблюдения // Водное хозяйство России. 2015. № 6. С. 93–104.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Подкорытова В.Г. Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 23 (2014 г.). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. С. 122–129. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.11

Непоп Р.К., Агатова А.Р. Оценка магнитуд палеоземлетрясений Горного Алтая на основе анализа обвального-оползневых сейсмодиформаций // Доклады Академии наук. 2006. Т. 411, № 1. С. 89–92.

Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Платонова С.Г., Чичагов В.П., Чичагова О.А. Следы сильных землетрясений прошлого в рельефе Горного Алтая // Геоморфология. 1999. № 1. С. 82–95.

Рогожин Е.А., Завьялов А.Д., Зайцева Н.В. Макросейсмические проявления Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. на территории г. Москвы // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. Т. 40, № 3. С. 64–77.

Саваренский Ф. П. Инженерная геология. Москва, Ленинград: ГОНТИ, 1939. 494 с.

Стром А.Л. Типизация катастрофических скальных оползней в горных районах на примере Среднеазиатского региона // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения: Мат. конф. (13–14 апреля 2017 г., Москва). Москва: Изд-во «Геомаркетинг», 2017. С. 88–93.

Сухова М.Г., Никольченко Ю.Н. Анализ гидрометеорологической ситуации в бассейне реки Катунь в момент катастрофического паводка 2014 года // Евразийское научное объединение. 2015. Т. 2, № 11. С. 150–153.

Храмцова А. Пеший одиночный поход по всесоюзному маршруту № 77 (июнь 2014 г.) / Интернет-проект Mountain.RU. URL: http://mountain.ru/article/article_display1.php?article_id=8730&fbclid (дата обращения 30.11.2022).

Ямбаркин, А.Ю. Катастрофические и опасные процессы рельефообразования на

территории Республики Алтай: бакалаврская работа. Томск, 2016. 46 с.

Landsat Explorer App. An application demonstrating analysis of Landsat on AWS scenes with visual renderings and indices / Esri, USGS, AWS, NASA [2018]. URL: <https://livingatlas2.arcgis.com/landsatexplorer/> (дата обращения 15.07.2020).

References

Agatova A.R., Novikov I.S., Vysotsky E.M., Gibsher A.S. Geomorphological affects from 27.09.2003 and 1.10.2003 earthquakes at Mountain Altai // *Geomorfologiya*. 2004. No. 3. P. 3-12. doi: 10.15356/0435-4281-2004-3-3-12. (in Russian).

Gorbatova O.N. O Sentelekskom opolzne 2014 goda [About the Sentelek landslide of 2014] // *Bulletin AB RGS*. 2015. No. 2 (37). C. 29–32. (in Russian).

Geologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:200000. Seriya Gorno-Altayskaya. List M-45-X. Ob'jasnitelnaya zapiska [Geological map of the USSR. Scale 1:200000. Gorno-Altaysk. Map sheet M-45-X. Explanatory letter] / Ed. Rentgarten P.A. Moscow: Nedra, 1965. 96 p. (in Russian).

Zemletrjasenija Rossii. Baza dannykh [Database “Earthquakes of Russia”] / United Geophysical Survey RAS. URL: <http://eqru.gsras.ru> (accessed 30.11.2022). (in Russian).

Zinoviev A.T., Koshelev K.B., Dyachenko A.V., Kolomeitsev A.A. Extreme rainfall and flood event of 2014 in the Upper Ob River basin: causes, prediction and field observations // *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2015. No. 6. P. 93–104. (in Russian).

Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Shevkunova E.V., Podkorytova V.G. Altaj i Sajani [Altai and Sayany] // *Zemletrjasenija Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia]. Vol. 23 (2014 г.). Obninsk: UGS RAS, 2020. P. 122–129. doi: 10.35540/1818–6254.2020.23.11. (in Russian).

Nepop R.K., Agatova A.R. Estimation of magnitudes of old earthquakes in the Gorny Altai region based on analysis of seismogravitational dislocations // *Doklady Earth Sciences*. 2006. Vol. 411, no. 8. P. 1212–1214. DOI: 10.1134/S1028334X06080101. (in Russian).

Rogozhin E.A., Bogachkin B.M., Nechaev Yu.V., Platonova S.G., Chichagova O.A., Chichagov V.P. Paleoseismological investigations on the territory of Russian (Gorny) Altai // *J. Earthq. Predict. Res.* 1998. No. 7. P. 391–413. (in Russian).

Rogozhin E.A., Zavyalov A.D., Zaytseva N.V. Macroseismic manifestations of the Ohotsk earthquake on the territory city of Moscow // *Voprosy inzhenernoj sejsmologii* [Problems of Engineering Seismology]. 2013. Vol. 40, no. 3. P. 64–77. (in Russian).

Savarenskij F.P. Inzhenernaja geologija [Engineering geology]. Moscow, Leningrad: GON-TI, 1939. 494 p. (in Russian).

Strom A.L. Tipizacija katastroficheskikh skal'nyh opolznei v gornyh rajonah na primere Sredneaziatskogo regiona [Classification of the catastrophic rock avalanches in mountain areas on the example of Central Asia Region] // *Inzhenerno-geologicheskie zadachi sovremennosti i metody ih reshenija: Mat. konf. (April 13–14, 2017g.)* [Engineering-geological problems of our time and methods for their solution: Proceed. conf. (April 13–14, 2017g.)]. Geomarketing. 2017. P. 88–93. (in Russian).

Sukhova M.G., Nikolchenko Yu.N. Analiz gidrometeorologicheskij situacii v bassejne reki Katun' v moment katastroficheskogo pavodka 2014 goda [Analysis of the hydrometeorological situation in the Katun River basin at the time of the catastrophic flood of 2014] // Eurasian scientific association. 2015. Vol. 2, no. 11. P. 150–153. (in Russian).

Khramtsova A. Peshij odinochnyj pohod po vsesojuznomu marshrutu № 77 [Hiking solo trip along the All-Union route No. 77] / Mountain.RU project. URL: http://mountain.ru/article/article_display1.php?article_id=8730&fbclid (accessed 30.11.2022).

Yambarkin A. Yu. Katastroficheskie i opasnye processy rel'efoobrazovaniya na territorii Respubliki Altaj [Catastrophic and dangerous processes of relief formation on the territory of the Altai Republic]. BSc thesis. Tomsk, 2016. 46 p. (in Russian).

Landsat Explorer App. An application demonstrating analysis of Landsat on AWS scenes with visual renderings and indices / Esri, USGS, AWS, NASA [2018]. URL: <https://livingatlas2.arcgis.com/landsatexplorer/> (accessed 15.07.2020).

ROCK AVALANCHE IN THE HEADWATERS OF THE RIVER UIKARATASH (GORNYY ALTAI)

E.M. Vysotsky

Sibgeoclub, LLC, Novosibirsk, E-mail: evysotsky@sibgeoclub.ru

The structure of an 8–9 Mm³ rock avalanche that occurred in the upper reaches of the river Uikaratash (Sumulta range, Altai Mountains) is described. Source zone scar has triangular shape formed by two rocky sides falling towards each other and is 120 m high. The upper point of the source zone is located at 2030 m a.s.l. The main part of the collapsed rock mass deposited close to the foot of the rock wall. A smaller part travelled to the opposite slope of the valley, reaching horizontal and vertical travel distances of 1750 m and 300 m, respectively. The total affected area including the source zone is 0.84 km². Landsat imagery data indicates the formation of the rock avalanche between May 25 and June 03 2014. The analysis of seismic and climatic events during this period indicates that the formation of the rock avalanche was provoked by the critical loading of fractured volcanic-sedimentary rocks by extreme atmospheric precipitation.

Keywords: rock avalanche; Altai Mountains; Yikaratash River; Sumulta Range.

Received August 23, 2023. Accepted: September 5, 2023

Сведения об авторе

Высоцкий Евгений Михайлович – кандидат геолого-минералогических наук, директор ООО «Сибгеоклуб». Россия, 630090, г. Новосибирск, пр-кт Академика Лаврентьева, д. 2/2. ORCID: 0009-0005-9921-0976. E-mail: evysotsky@sibgeoclub.ru.

Information about the author

Vysotsky Evgenij Mikhailovich – PhD in Geology and Mineralogy, director of Sibgeoclub LLC. Russia, 630090, Novosibirsk, Lavrentiev Avenue, 2/2. ORCID: 0009-0005-9921-0976. E-mail: evysotsky@sibgeoclub.ru.

Раздел 2

ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

Section 2

HYDROLOGY. CLIMATE

УДК 535.8:556.5:574.5

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОЗЕРА КРАСИЛОВСКОЕ

О.Б. Акулова, В.И. Букатый, К.В. Марусин

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,**E-mail: akulova8282@mail.ru, v.bukaty@mail.ru, kat@iwep.ru*

*В статье представлены многолетние экспериментальные данные по спектральной прозрачности воды в поверхностном слое озера Красиловское (Косихинский район Алтайского края), полученные в весенний период 2012–2023 гг. Рассчитанные значения показателя ослабления света в спектральном диапазоне 400–800 нм за исследуемый период находились в достаточно широком диапазоне от 0.6 до 35.0 м⁻¹, показателя поглощения света жёлтым веществом – от 0.1 до 26.1 м⁻¹. Измерены концентрации хлорофилла *a* и жёлтого вещества. Содержание хлорофилла *a* в поверхностном слое водоёма изменялось за 11-летний период в пределах 2.8–34.6 мг/м³. Концентрация жёлтого вещества на озере, определяемая оптическим методом по измеренному показателю поглощения света жёлтым веществом на длине волны $\lambda=450$ нм, варьировала в пределах 4.4–60.1 г/м³. Проведена оценка спектрального вклада основных оптически активных компонентов воды (жёлтого вещества, взвеси, хлорофилла *a* и чистой воды) в показатель ослабления света для поверхностного слоя водоёма. Выявлено, что максимальный вклад в суммарное ослабление света вносит жёлтое вещество и взвесь.*

Ключевые слова: озеро; спектральная прозрачность; показатель ослабления света; показатель поглощения света жёлтым веществом; относительная прозрачность по диску Секки; оптически активные компоненты воды; трофический статус.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-17102

Дата поступления: 19.07.2023. Принята к печати: 22.09.2023

В связи с тем, что в современных условиях наметившихся тенденций ускоренной трансформации разнотипных озёр Алтайского края под влиянием антропогенных и естественных факторов комплексный экологический мониторинг на водоёмах имеет большое значение. Он включает постоянные экспериментальные наблюдения, оценку состояния и прогноз изменения исследуемых водных объектов.

Особое место при изучении водных экосистем занимают гидрооптические характеристики [Ерлов, 1980; Копелевич, 1983; Шифрин, 1983; Апонасенко, 2001], которые имеют очень важное значение (наряду с гидробиологическими и гидрохимическими характеристиками) для получения параметров качества воды, особенно – оценки степени эвтрофирования и санитарно-биологического состояния, в

частности, масштабов биозагрязнения. Оценка качества воды и контроль состояния таких озёрных экосистем необходимы для проведения комплекса водоохранных мероприятий, направленных на предотвращение отрицательных экологических последствий антропогенного воздействия, защиту водоёмов от загрязнения и истощения.

Цель работы – исследование динамики спектральной прозрачности воды и оптического вклада её компонентов в поверхностном слое озера Красиловское в весенний период 2012–2023 гг.

В основу данной статьи положены результаты совместных исследований авторов, которые ранее были представлены в работах [Акулова, 2015; Суторихин и др., 2016; Суторихин и др., 2017].

Материалы и методы исследования

Объект исследования – озеро Красиловское (53°18'13"с.ш., 83°36'16"в.д.), которое расположено в 60 км от краевого центра (Косихинский район Алтайского края). Озеро является непроточным водоёмом, береговая линия которого сильно изрезана, а его питание происходит за счёт атмосферных осадков, талых и грунтовых вод. В засушливые годы бессточное озеро сильно мелеет, а в многоводный период вода перекачивается через пологие берега и затопляет окрестную территорию. Весенняя фаза водного режима является важным периодом, обуславливающим сохранение водоёма. В основном это зависит от совокупности следующих факторов: температурного режима и выпадения атмосферных осадков во время снеготаяния, влагосодержания снежного

покрова. Другими важными факторами, влияющими на интенсивность весеннего изменения уровня воды, являются температурный режим в зимний период, степень увлажнения почвы в период осеннего замерзания и глубина её промерзания. Весенняя фаза водного режима относится к категории циклических, ежегодно повторяющихся явлений, однако проблема точности его прогноза до сих пор остается актуальной [Показеев, Филатов, 2002].

Основой для выполнения научно-исследовательской работы на озере в весенний период 2012–2023 гг. послужили результаты обработки и анализа 88 водных проб. В лаборатории нами проведено 1188 измерений спектральной прозрачности воды на стационарном спектрофотометре ПЭ-5400УФ до и после фильтрации проб. Измерения гидрооптических характеристик в пробах воды, взятых в поверхностном слое исследуемого водоёма, проводили в режиме измерений спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды, затем рассчитывали показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$. Расчёты проводили по формуле

$$\varepsilon(\lambda) = \left(\frac{1}{L}\right) * \ln\left(\frac{1}{T(\lambda)}\right), \quad (1)$$

вытекающей из закона Бугера, где L – длина кюветы, $T(\lambda) = I(\lambda) / I_0(\lambda)$ – спектральная прозрачность в относительных единицах, $I(\lambda)$, $I_0(\lambda)$ – интенсивности прошедшего и падающего света, соответственно, λ – длина волны света. Максимальная абсолютная погрешность $\varepsilon(\lambda)$ и показателя поглощения света жёлтым веществом $\kappa_{\text{жв}}(\lambda)$ составила 0.5 м^{-1} . Значения $\varepsilon(\lambda)$ и $\kappa_{\text{жв}}(\lambda)$ рассчитаны при натуральном основании логарифма. Расчётные формулы для показателей

поглощения света жёлтым веществом $\kappa_{\text{жв}}(\lambda)$ и концентраций жёлтого вещества $C_{\text{жв}}$ подробно описаны в работах [Nyquist, 1979; Маньковский, 2015], для спектрального вклада оптически активных компонентов озёрной воды в $\varepsilon(\lambda)$ – [Копелевич, 1983; Акулова, 2015].

Также проводили измерения относительной прозрачности Z с помощью диска Секки. Дополнительно определяли стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТ 17.1.4.02-90 концентрацию хлорофилла a .

Результаты и обсуждение

За исследуемый период (2012–2023 гг.) значения показателя ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ в спектральном диапазоне 400–800 нм в пробах воды, отобранных в поверхностном слое озера Красиловское находились в достаточно широком диапазоне от 0.6 до 35.0 м⁻¹, показателя поглощения света жёлтым веществом от 0.1 до 26.1 м⁻¹ (рис. 1). Величины $\varepsilon(\lambda)$ в мае 2023 г. очень близки к весенним значениям прошлого года (выезд 17 мая 2022 г.), но значительно отличаются от 2018 г. (выезд 7 мая), где величины $\varepsilon(\lambda)$

находились в диапазоне 5.1–35.0 м⁻¹.

Из рис. 1 видно, что за 11-летний период оптических исследований озера амплитуда колебаний значений $\varepsilon(\lambda)$ в поверхностном слое изменялась в широких пределах, максимальные величины $\varepsilon(\lambda)$ зафиксированы летом в 2018 г., минимальные – 2023 г. Водоём за период исследований изменил свой трофический статус дважды, от мезотрофного (2012 г.) до эвтрофно-гиперэвтрофного (2018 г.), и в 2023 г. значения $\varepsilon(\lambda)$ оказались близки к минимальным величинам 2012 г., что говорит нам о том, что экосистема озера оказалась устойчивой к антропогенным факторам нагрузки и способной к самоочищению. В нашем случае, причиной изменений показателя ослабления света существенно зависят от концентраций хлорофилла a и жёлтого вещества. Результаты по концентрации жёлтого вещества $C_{\text{жв}}$ в поверхностном слое озера за 6-летний период (2017–2023 гг.) варьировали также в широком диапазоне 4.4–60.1 г/м³ со средним значением 27.2 г/м³. За последние два года значения $C_{\text{жв}}$ снизились до минимума (4.4 г/м³).

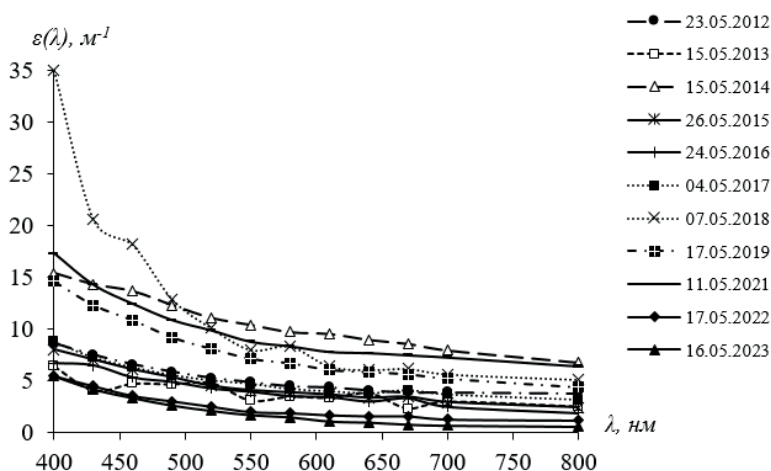


Рис. 1. Значения показателя ослабления света в зависимости от длины волны в поверхностном слое озера Красиловское

Fig. 1. Light attenuation values depending on a wavelength in the surface layer of Lake Krasilovskoye

Для примера на рис. 2 приведена многолетняя динамика концентраций C_{chl} хлорофилла a на разных глубинах h озера Красиловское.

Концентрации основного фотосинтетического пигмента C_{chl} за 11-летний период показали значительные изменения в очень широких пределах (3.3–60.0 мг/м³), которые за последние три года довольно сильно снизились (2.5–21.9 мг/м³). Это может быть обусловлено различными причинами, в том числе: изменением температуры воды, концентрацией биогенных элементов, освещённости, ветровыми течениями и др. Результаты определения концентрации хлорофилла a в озере выявили различия вертикального распределения содержания пигмента в разные годы. Исследуемое озеро характеризуется более высокими показателями концентрации хлорофилла a , в основном, в придонном горизонте водоёма по сравнению с поверхностным, что обусловлено, на наш взгляд, процессами разложения и минерализации растительных остатков и активными процессами химического обмена, происходящими

на границе водораздела вода–дно (слой иловых масс). Видовой состав, развитие и распределение водорослей фитопланктона на озере Красиловское в марте и августе 2017 г., а также в феврале 2018 г. подробно представлены в работе [Винокурова и др., 2021]. Выявлена связь гидрооптических характеристик с содержанием хлорофилла a (в диапазоне 400–460 и 670–800 нм) и связь с общей численностью фитопланктона (в диапазоне 520–580 нм), что свидетельствует об активном развитии водорослей как в период открытой воды, так и в подлёдный период.

Величины относительной прозрачности Z за десять лет (2013–2023 гг.) изменялись в широком диапазоне – от 40 до 154 см со средним значением 101 см. Вода в озере в весенний период стала значительно прозрачнее за последние три года.

Среднее значение концентрации общего фосфора $P_{общ}$ в поверхностном слое озера Красиловское за исследуемый период (2013–2023 гг.) составило 23.0 мг/м³, общего азота $N_{общ}$ – 233.0 мг/м³, общего углерода $C_{общ}$ – 27000.0 мг/м³.

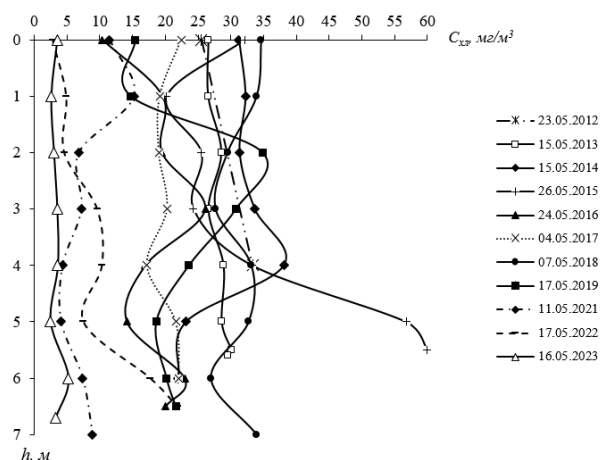


Рис. 2. Вертикальное распределение хлорофилла a в озере в весенний период 2012–2023 гг.

Fig. 2. Vertical distribution of chlorophyll a in the lake in spring of 2012–2023.

В таблице представлены результаты компонентов озёрной воды для расчётов относительного спектрального поверхностного слоя озера в майский вклада основных оптически активных период 2014–2023 гг.

Таблица

Относительный спектральный вклад (%) компонентов озёрной воды в показатель ослабления света на озере Красиловское в весенний период

Table

Relative spectral contribution (%) of lake water components to light attenuation at Lake Krasilovskoye in spring

Длина волны λ , нм	Показатели поглощения			Показатели рассеяния	Показатель ослабления света
	$\frac{\kappa_{\text{ве}}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\kappa_{\text{моз}}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\kappa_{\text{кл}}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\sigma_{\text{сз}}(\lambda) + \sigma_{\text{мол}}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\varepsilon(\lambda), \text{ м}^{-1}$
15.05.2014 при $C_{\text{хл}} = 31.3 \text{ мг/м}^3$					
430	0.1	32.6	17.4	49.9	14.3
550	0.5	26.4	2.0	71.1	10.4
670	5.0	24.6	14.5	55.9	8.6
26.05.2015 (при $C_{\text{хл}} = 32.1 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	57.1	36.5	6.3	7.0
550	1.4	43.0	0.5	55.1	4.0
670	12.0	36.1	35.2	16.7	3.4
24.05.2016 (при $C_{\text{хл}} = 10.4 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	50.7	12.8	36.4	6.5
550	1.4	45.0	1.6	52.0	4.0
670	12.0	36.1	11.5	40.4	3.6
04.05.2017 (при $C_{\text{хл}} = 22.4 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	69.4	24.8	5.7	7.2
550	1.2	51.0	3.0	44.8	4.7
670	10.6	44.0	21.8	23.6	4.1
07.05.2018 (при $C_{\text{хл}} = 34.6 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	70.4	13.4	16.1	20.6
550	0.7	60.0	2.8	36.5	8.0
670	7.0	50.0	22.3	20.7	6.2
17.05.2019 (при $C_{\text{хл}} = 15.4 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	76.4	10.0	13.5	12.3
550	0.8	73.2	1.4	24.6	7.1
670	7.7	66.1	11.0	15.2	5.6
11.05.2021 (при $C_{\text{хл}} = 11.5 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	58.0	6.4	35.5	14.3
550	0.6	50.0	0.8	48.6	8.8
670	5.8	45.3	6.1	42.8	7.5
17.05.2022 (при $C_{\text{хл}} = 2.8 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	26.7	5.0	68.2	4.5
550	2.8	20.0	0.9	76.3	2.0
670	27.2	6.3	7.0	59.5	1.6
16.05.2023 (при $C_{\text{хл}} = 3.5 \text{ мг/м}^3$)					
430	0.1	30.9	6.7	62.3	4.2
550	3.3	29.4	1.3	66.0	1.7
670	54.4	12.5	17.5	15.6	0.8

В результате расчётов получено, что максимальный вклад в $\varepsilon(\lambda)$ в основном вносит жёлтое вещество (ЖВ) и взвесь (ВЗ). Наибольший вклад ЖВ в общее ослабление при $\lambda=430$ нм приходится на 2018 и 2019 гг. – 70.4 и 76.4%, соответственно, минимальный вклад ЖВ в показатель ослабления света зафиксирован в 2022 г. – 26.7%. На длине волны 550 нм вклад ЖВ в период исследования находился в пределах от 20.0 (2022 г.) до 73.2% (2019 г.), а в длинноволновой области спектра (при $\lambda=670$ нм) – от 6.3 (2022 г.) до 66.1% (2019 г.). Взвесь даёт максимальный вклад в суммарное ослабление света на длине волны 550 нм и составляет 24.6–76.3%. Наибольший вклад ВЗ в $\varepsilon(\lambda)$ при $\lambda=430$ нм приходится на май 2023 и 2022 гг. – 62.3 и 68.2%, соответственно. При $\lambda=670$ нм максимальные значения вклада ВЗ зафиксированы в 2022 г. и составили около 60%. Вклад хлорофилла (ХЛ) в ослабление света максимален при $\lambda=430$ и 670 нм, минимум – при $\lambda=550$ нм. Выбранные длины волн для расчётов – 430 и 670 нм характеризуются максимальным поглощением света хлорофиллом a в данном спектральном диапазоне, а длина волны 550 нм соответствует центру спектрального интервала 400–800 нм, на который приходится подавляющая часть энергии солнечного излучения. Чистая вода (ЧВ) вносит несущественный вклад в ослабление света при $\lambda=430$ нм во всех случаях составляет не более 0.1%, но резко увеличивается при $\lambda=670$ нм. Отметим, что за последние два года вырос вклад чистой воды в $\varepsilon(\lambda)$ в длинноволновой области спектра.

Трофический статус озера оценивали с применением трофического индекса TSI (Trophic State Index) Карлсона [Carlson, 1977] и значений спектральной прозрачности воды. В результате расчётов получено, что трофический статус озера Красиловское в период исследования можно охарактеризовать, в основном, как эвтрофный.

Выводы

1. В результате проведённых исследований по динамике спектральной прозрачности воды в диапазоне 400–800 нм в майский период 2012–2023 гг. для поверхностного слоя озера Красиловское нами рассчитаны показатели ослабления. На основе экспериментальных данных о спектральной прозрачности воды изучаемого водоёма следует, что изменения по спектру не коррелируют с показателями поглощения для чистой воды. На наш взгляд, это обусловлено рассеянием и поглощением света органических и минеральных частиц водной взвеси в вышеуказанном озере.

2. На основе статистически полученных нами данных гидрооптических ($\varepsilon(\lambda)$, $\kappa_{\text{жв}}(\lambda)$, Z), гидробиологических ($C_{\text{хл}}$) и гидрохимических ($P_{\text{общ}}$, $N_{\text{общ}}$, $C_{\text{общ}}$) характеристик сделаны оценки качества вод и их продуктивности в водоёме Алтайского края (на примере майских выездов на озеро Красиловское в период 2012–2023 гг.).

3. Использование модифицированной полуэмпирической модели ослабления света, учитывающей поглощение света терригенными и биогенными частицами,

позволило рассчитать относительные воды, хлорофилла *a*, жёлтого вещества и спектральные вклады основных оптически взвеси) в $\varepsilon(\lambda)$ в поверхностном слое озера активных компонентов воды (чистой Красиловское в период 2014–2023 гг.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий»).

Авторы глубоко признательны заведующему лабораторией гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН А.Т. Зиновьеву за организацию полевых выездов на озеро, сотрудникам ХАЦ ИВЭП СО РАН под руководством д-ра хим. наук Т.С. Папиной за предоставленные данные измерений концентрации общего углерода, азота и фосфора для исследуемого озера.

Список литературы

1. Акулова О.Б. Разработка методов и измерительно-вычислительного комплекса для оценки экологически значимых гидрооптических характеристик пресноводных водоёмов (на примере озёр Алтайского края): Дис. ... канд. тех. наук. Барнаул, 2015. 176 с.
2. Апонасенко А.Д. Количественные закономерности функциональной организации водных экосистем в связи с их дисперсной структурой: Дис. ... докт. физ.-мат. наук. Красноярск, 2001. 316 с.
3. Винокурова Г.В., Суторихин И.А., Коломейцев А.А., Фроленков И.М. Анализ состояния биологических сообществ континентального водоема с использованием гидрооптических характеристик // Биология внутренних вод. 2021. № 2. С. 142–150. doi: 10.31857/S0320965221010162
4. Ерлов Н.Г. Оптика моря. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 248 с.
5. Копелевич О.В. Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды // Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана / Ред. А.С. Моница. Москва: Наука, 1983. С. 208–235.
6. Маньковский В.И. Жёлтое вещество в поверхностных водах восточной части Тропической Атлантики // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 3. С. 53–61.
7. Показеев К.В., Филатов Н.Н. Гидрофизика и экология озёр. Т. 1. Гидрофизика. Москва, 2002. 276 с.
8. Суторихин И.А., Акулова О.Б., Букатый В.И., Фроленков И.М. Определение трофического статуса пресноводных озёр Алтайского края в период 2013–2016 гг. по гидрооптическим характеристикам // Известия АлтГУ. 2017. № 1 (93). С. 58–61. doi: 10.14258/izvasu(2017)1-10

9. Суторихин И.А., Букатый В.И., Харламова Н.Ф., Акулова О.Б. Климатические условия и гидрооптические характеристики пресноводных озёр Алтайского края. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 162 с.
10. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Ленинград, 1983. 278 с.
11. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22, no. 2. P. 361–369.
12. Nyquist G. Investigation of some optical properties of sea water with special reference to lignin sulfonates and humic substances: Summary of PhD Thesis. Göteborg, Sweden, 1979. 200 p.

References

1. Akulova O.B. Razrabotka metodov i izmeritelno-vychislitelnogo kompleksa dlya otsenki ekologicheskikh znachimykh gidroopticheskikh kharakteristik presnovodnykh vodoemov (na primere ozer Altayskogo kraia) [Development of methods and a measuring and computing complex for assessing environmentally significant hydrooptical characteristics of freshwater reservoirs (using the example of lakes in the Altai Region)]: PhD (Candidate of Technical Sciences) thesis. Barnaul, 2015. 176 p. (in Russian).
2. Aponasenko A.D. Kolichestvennyye zakonomernosti funktsionalnoy organizatsii vodnykh ekosistem v svyazi s ikh dispersnoy strukturoy [Quantitative patterns of functional organization of aquatic ecosystems due to their dispersed structure]: DSc (Doctor of Physical and Mathematical Sciences) thesis. Krasnoyarsk, 2001. 316 p. (in Russian).
3. Vinokurova G.V., Sutorikhin I.A., Kolomeytsev A.A., Frolenkov I.M. Analiz sostoyaniya biologicheskikh soobshchestv kontinentalnogo vodoema s ispolzovaniem gidroopticheskikh kharakteristik [Analysis of the state of biological communities of the continental reservoir using hydrooptic characteristics] // *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland Water Biology]. 2021. No. 2. P. 142–150. doi: 10.31857/S0320965221010162 (in Russian).
4. Erlov N.G. Optika moray [Sea optics]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. 248 p. (in Russian).
5. Kopelevich O.V. Maloparametricheskaya model opticheskikh svoystv morskoy vody [Low-parameter model of optical properties of seawater] // *Optika okeana. T. 1. Fizicheskaya optika okeana* [Ocean optics. V. 1. Physical optics of the ocean] / Ed. A.S. Monina. Moscow: Nauka, 1983. P. 208–235. (in Russian).
6. Mankovskiy V.I. Zheltoe veshchestvo v poverkhnostnykh vodakh vostochnoy chasti Tropicheckoy Atlantiki [Yellow matter in the surface waters of the eastern Tropical Atlantic] // *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal* [Marine Hydrophysical Journal]. 2015. No. 3. P. 53–61. (in Russian).
7. Pokazeev K.V., Filatov N.N. Gidrofizika i ekologiya ozer. T. 1. Gidrofizika. [Hydrophysics and ecology of lakes. V. 1. Hydrophysics]. Moscow, 2002. 276 p. (in Russian).
8. Sutorikhin I.A., Bukatyy V.I., Kharlamova N.F., Akulova O.B. Klimaticheskie usloviya

i gidroopticheskie kharakteristiki presnovodnykh ozer Altayskogo kraya [Climatic conditions and hydrooptical characteristics of freshwater lakes of the Altai Region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2016. 162 p. (in Russian).

9. Sutorikhin I.A., Akulova O.B., Bukatyy V.I., Frolenkov I.M. Opredelenie troficheskogo statusa presnovodnykh ozer Altayskogo kraya v period 2013–2016 gg. po gidroopticheskim kharakteristikam [Determination of the trophic status of freshwater lakes of the Altai Region in the period 2013–2016 by hydrooptic characteristics] // Izvestiya AltGU [Bulletin AltSU]. 2017. No. 1 (93). P. 58–61. doi: 10.14258/izvasu(2017)1-10 (in Russian).

10. Shifrin K.S. Vvedenie v optiku okeana [Introduction to ocean optics]. Leningrad: 1983. 278 p. (in Russian).

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

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

LONG-TERM DYNAMICS OF SPECTRAL WATER TRANSPARENCY IN THE SURFACE LAYER OF LAKE KRASILOVSKOYE

O.B. Akulova, V.I. Bukaty, K.V. Marusin

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: akulova8282@mail.ru, v.bukaty@mail.ru, kat@iwep.ru

*The paper presents the long-term experimental data (spring of 2012–2023) on spectral transparency of water in the surface layer of Lake Krasilovskoye (Kosikhinsky region, Altai Krai). For the study period, the widely varying light attenuation index ($0.6\text{--}35.0\text{ m}^{-1}$) was calculated at the spectral range of 400–800 nm; the light absorption index of yellow substance made up $0.1\text{--}26.1\text{ m}^{-1}$. The concentrations of chlorophyll *a* and yellow substance were measured. Over the study period, the content of chlorophyll *a* in the surface layer of the lake was within $2.8\text{--}34.6\text{ mg/m}^3$; the concentration of yellow substance determined with the use of the optical method from the measured light absorption by yellow substance at a wavelength of $\lambda=450\text{ nm}$ ranged as $4.4\text{--}60.1\text{ g/m}^3$. We estimated the spectral contribution of the main optically active components of water (yellow substance, suspended matter, chlorophyll *a* and pure water) to the light attenuation index for the surface layer of the water body and revealed that yellow substance and suspended matter provided maximum contribution to the total light attenuation.*

Keywords: lake; spectral transparency; light attenuation index; light absorption index by yellow substance; relative transparency by Secchi disk; optically active components of water; trophic status.

Received July 19, 2023. Accepted: September 22, 2023

Сведения об авторах

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

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

Марусин Константин Валерьевич – научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-1565-8326. E-mail: kat@iwep.ru.

Information about the authors

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

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

Marusin Konstantin Valeryevich – researcher associate Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-1565-8326. E-mail: kat@iwep.ru.

УДК [556.51+911.5]: 519.85

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВЕСЕННИЕ ПОЛОВОДЬЯ ГОРНЫХ РЕК

Ю.Б. Кирста, И.А. Трошкова

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул**E-mail: kirsta@iwep.ru, egorka_iren@mail.ru*

Исследовано влияние факторов среды на весенние (апрельские) половодья 34 средних и малых рек Алтае-Саянской горной страны. С помощью разработанной методологии интеллектуального анализа экспериментальных данных (системно-аналитического моделирования) разработаны аналитические модели половодий и выявлена их сложная зависимость от месячных осадков и среднемесячных температур воздуха за сентябрь-апрель, а также от высоты и ландшафтной структуры речных бассейнов. Изменения метеорологических факторов охарактеризованы нами в процентах от их среднемноголетних значений, что позволило унифицировать их помесечную и многолетнюю динамику по всей стране. Данные о рельефе и ландшафтной структуре речных бассейнов рассчитаны по ландшафтным картам территории средствами ArcGIS 10.2. Разработка модели и количественная оценка влияния факторов среды на половодья выполнялись путем решения обратной математической задачи с использованием около 2000 значений речных стоков, наблюдаемых в 1951–2020 гг. Высокое качество, простота и универсальность моделей позволяют использовать их для прогнозов весенних половодий на горных реках.

Ключевые слова: весеннее половодье; горные реки; метеорологические факторы; ландшафты; интеллектуальный анализ; Алтай; Саяны.

*DOI:10.24412/2410-1192-2023-17103**Дата поступления: 21.10.2023. Принята к печати: 22.11.2023*

Интеллектуальный анализ данных [Funes, Dasso, 2021; Алексеев, Щекочихин, (ИА), известный как Data Mining и Knowledge Discovery, направлен на выделение неотчетливой, но потенциально полезной информации, содержащейся в больших выборках экспериментальных данных. Для ее извлечения разработаны различные математические методы, основанные на совмещении классической статистики и специальных компьютерных технологий (технологий обработки баз данных, алгоритмов машинного обучения, искусственных нейронных сетей, искусственного интеллекта и других) [Funes, Dasso, 2021; Алексеев, Щекочихин, 2022]. Актуальнейшей проблемой ИА является максимально полное извлечение полезной информации, содержащейся в выборках «зашумленных» данных со стохастическими ошибками [Ma, Yan, 2022]. В данной работе используется первая стандартная методология ИА для ее извлечения и разработки адекватных аналитических моделей, описывающих реальную структурно-функциональную организацию сложноорганизованных природных систем [Kirsta, Troshkova, 2023a].

Наводнения на реках наносят значительный вред хозяйственной деятельности человека в различных регионах мира. Для их прогнозов разработаны различные математические модели, учитывающие соответствующие факторы среды [Li et al., 2021; Klijn et al., 2022]. Очевидно, что высококачественные модели половодий и паводков требуют адекватного описания гидрологических процессов по всей территории водосбора, что невозможно без подробных пространственно распределенных данных об осадках, температурах воздуха, растительности и ландшафтах, подземных водоносных горизонтах, морфометрии водосборных площадей, свойствах почв, профиля речных русел и других характеристик. Несмотря на растущий объем исследований по этой теме, универсальные адекватные модели половодий на горных реках до сих пор отсутствуют. С помощью разработанной методологии ИА удалось создать высокоточные универсальные модели и получить количественные оценки влияния факторов среды на весенние половодья горных рек [Kirsta, Troshkova, 2022; Kirsta, Troshkova, 2023b].

Методология интеллектуального анализа данных

Предлагаемый ИА экспериментальных данных с целью построения аналитических моделей имеет также более конкретизированное название – системно-аналитическое моделирование (САМ) [Кирста, Кирста, 2014]. ИА/САМ базируется на анализе поведения

природных систем как целостного комплекса процессов и воздействующих на них факторов среды. Поскольку все сложноорганизованные природные системы состоят из большого количества иерархически подчиненных друг другу процессов, методология основана на системно-иерархическом подходе и специализированной обработке больших объемов экспериментальных данных параллельных наблюдений за процессами и влияющими на них факторами среды. Под термином «аналитическая» мы подразумеваем два базовых свойства разрабатываемых моделей:

- количественно характеризовать динамику реальных процессов в сложноорганизованных природных системах при недостатке или отсутствии прямых наблюдений за ними,
- служить основой для дальнейшего углубленного исследования структурно-функциональной организации анализируемых систем.

Эффективность методологии ИА/САМ многократно проверена при моделировании различных сложноорганизованных природных систем:

- процессов влагообмена в почвах [Kirsta, 2006a],
- урожаев зерновых в агроэкосистемах России и США [Kirsta, 2006b],
- долгосрочном прогнозе изменений климата в России и США [Kirsta, 2006b; Kirsta et al., 2019],
- формирования водных и гидрохимических (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , общего растворенного железа, ионов, взвешенного вещества) стоков горных рек [Kirsta, Puzanov,

2020; Kirsta, Puzanov, 2021] и др.

Разработанная методология ИА/САМ включает пять последовательно выполняемых этапов, которые мы охарактеризуем на примере разработки аналитических моделей половодий, формируемых сложной совокупностью недостаточно изученных гидрологических процессов на водосборах горных рек со значительными вариациями условий среды.

На первом этапе ИА/САМ определяют три иерархических уровня организации процессов в анализируемой природной системе. Первый наиболее высокий иерархический уровень должен отвечать территории и периоду времени, для которых будут справедливы результаты исследований. Для гидрологической системы горных водосборов в качестве первого уровня следует выбрать речные бассейны большой территории (у нас Алтай-Саянская горная страна) с общими для нее мезомасштабными метеорологическими процессами.

Второй более низкий иерархический уровень должен отвечать гидрологическим системам, слагающим первый уровень. Это водосборные бассейны отдельных рек. Количество таких гидрологических объектов должно быть достаточно велико, чтобы исключить влияние множества индивидуальных особенностей объектов и обеспечить достоверность результатов моделирования основного интегрального процесса – речного стока в весеннее половодье на выходных створах соответствующих водосборов.

Третий иерархический уровень отвечает еще меньшим гидрологическим объектам, которые должны отражать в модели разные условия среды, влияющие на функ-

ционирование систем второго уровня. Это отдельные ландшафты, представляющие собой более мелкие, но достаточно автономные гидрологические системы.

Динамика гидрологических процессов всех иерархических уровней, зависящая от меняющихся во времени и пространстве условий среды, описывается математическими уравнениями (интегро-дифференциальными, алгебраическими, балансовыми, имитационными или иными). Уравнения составляют искомую аналитическую модель гидрологических объектов первого иерархического уровня. При этом меняющиеся факторы среды и гидрологические процессы характеризуются, соответственно, как входные и выходные переменные модели.

На втором этапе осуществляется подготовка данных для моделирования. Это ответственный этап ИА/САМ, включающий выбор шагов временной и пространственной шкал описания процессов и изменения факторов среды [Kirsta, Troshkova, 2023b]. Согласно этим шкалам должен выполняться анализ всех экспериментальных данных о процессах и факторах среды. Например, это выбор масштаба карт, требующегося для адекватного описания ландшафтной структуры речных бассейнов, а также шага описания изменений метеорологических факторов и речных стоков во времени.

Особые сложности возникают при недостаточном количестве наблюдений за факторами, влияющими на анализируемые процессы. Для метеорологических факторов нами разработан метод их нормирования, при котором среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки

нормируются на свои среднемноголетние значения и затем обобщаются (усредняются) по пространству [Kirsta, Lovtskaya, 2020]. Данный метод обеспечивает единое образное описание динамики указанных факторов во времени и пространстве, вне зависимости от меняющихся координат и высоты местности. Возможность такого описания объясняется едиными для территории мезомасштабными метеорологическими процессами и неоднократно подтверждена прикладными расчетами.

В связи с нормировкой метеорологических факторов необходимо нормировать и анализируемые речные стоки. Это легко выполняется путем нормирования их ежегодно наблюдаемых значений на среднемноголетние величины по каждому речному бассейну. В итоге создается однородная выборка гидрологических данных, характеризующая все изменения стоков во времени и пространстве.

В свою очередь, площади выделенных на третьем иерархическом уровне ландшафтов нормируются на площади соответствующих речных бассейнов. Тем самым мы переходим к безразмерным значениям входных факторов и выходной переменной разрабатываемой аналитической модели.

На третьем этапе ИА/САМ выбирается тип модели и составляются ее уравнения. Уравнения модели должны учитывать накопленные знания о процессах в анализируемых природных объектах и не противоречить известным физическим, гидрологическим и другим законам и закономерностям. Затем начинается собственно ИА/САМ, в ходе которого проверяются различные варианты описания процессов.

Для каждого проверяемого варианта составляется система уравнений большой размерности, в которой каждое уравнение обеспечивает расчет отдельного значения речного стока из имеющейся выборки наблюдений за ним. Для составленной системы решается обратная математическая задача [Kirsta, Troshkova, 2023b]. С этой целью рассчитываемые значения выходной переменной в уравнениях заменяются на соответствующие им наблюдаемые значения из выборки гидрологических данных. Решение обратной задачи выполняется, например, оптимизационными методами из известного пакета прикладных программ MATLAB, обеспечивая одновременный расчет значений всех параметров модели и ее невязки (среднеквадратичного отклонения рассчитанных значений выходной переменной от наблюдаемых). В результате проверки различных вариантов описания анализируемых процессов (у нас – формирования половодий) определяется вариант с наименьшей невязкой, который принимается за готовую математическую модель. При этом считается, что наименьшую невязку модели обеспечивает только адекватное описание всех описываемых в модели процессов и влияния на них факторов среды.

Количество наблюдений за выходной переменной (размер ее выборки) должен превышать число параметров создаваемой аналитической модели в 5–10 раз. Это обеспечивает наилучшую точность значений ее параметров, получаемых в ходе решения обратной математической задачи. При этом важной особенностью ИА/САМ является пониженная чувствительность к погрешности данных. Большая погреш-

ность последних обуславливает лишь увеличение невязки, не приводя к изменению ни вида искомых уравнений, ни значений параметров.

При моделировании сложноорганизованных природных систем зависимость их

процессов от факторов среды обычно неясна. Предлагаемая методология ИА/САМ решает эту проблему путем применения непрерывной кусочно-линейной функции H , состоящей из трех линейных фрагментов [Kirsta, Troshkova, 2023b]:

$$H(X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2, X) = \begin{cases} Y1 + Z1(X - X1), & \text{если } X < X1 \\ \frac{Y2-Y1}{X2-X1}(X - X1) + Y1, & \text{если } \begin{cases} X1 \leq X < X2 \\ X1 \neq X2 \end{cases} \\ Y2 + Z2(X - X2), & \text{если } X \geq X2 \end{cases}, \quad (1)$$

где $X1$, $X2$, $Y1$, $Y2$, $Z1$, $Z2$ – параметры, определяемые в ходе решения обратной задачи; X – какая-либо переменная модели. Функция H с меняющимися значениями параметров позволяет аппроксимировать широкий спектр зависимостей между процессами и факторами среды.

На четвертом этапе оцениваются адекватность (точность) полученной модели. Для оценки адекватности математических моделей нами предложен следующий критерий [Kirsta, Troshkova, 2023b]:

$$A = \frac{S_{\text{dif}}}{\sqrt{2}S_{\text{obs}}}, \quad (2)$$

где A – критерий адекватности модели; S_{dif} – стандартное (среднеквадратичное) отклонение для ее невязки (разности между наблюдаемыми и рассчитанными данными); S_{obs} – стандартное отклонение для наблюдаемых данных; $1/\sqrt{2}$ – множитель.

Критерий A в (2) представляет собой невязку модели, нормированную на стандартное отклонение данных наблюдений. Интервал значений $A=0-0.71$ отвечает различной адекватности модели, то есть степени совпадения расчетных и наблюдаемых значений выходной переменной с их полным совпадением при $A \sim 0$. Критерий A

подобен показателю качества моделей RSR и критерию Нэша-Сатклиффа NSE [Koch, Cherie, 2013], с которыми связан зависимостями $RSR = A\sqrt{2}$ и $NSE = 1 - RSR^2 = 1 - 2A^2$.

На пятом этапе ИА/САМ оценивается прикладное качество разработанной модели. Очевидно, что полученные универсальные значения параметров можно уточнить при описании конкретного объекта в выбранный период времени. Неизменность ряда характеристик у одного объекта позволяет сократить и общее число параметров. Для уточнения значений оставшихся опять можно использовать решение обратной математической задачи, соблюдая соотношение более 5:1 между наблюдениями за выходной переменной модели и числом обновляемых параметров. После этого оценивается прикладное качество модели (значения A , RSR, NSE), описывающей конкретные гидрологические объекты [Kirsta, Troshkova, 2023a; Kirsta, Troshkova, 2023b].

Исходные материалы

Методология ИА/САМ реализована нами на примере анализа весенних половодий с ледоходом в апреле 1951–2020 гг. на 34 средних и малых реках Алтае-Саянской

горной страны. Страну отличает большое разнообразие ее ландшафтно-климатических зон: ледников, гольцов, горных тундр и альпийских лугов на высокогорьях, хвойных лесов, степей и полупустынь на склонах и межгорных котловинах. Питание многочисленных рек страны является смешанным снегово-дождевым и ледниковым, причем снеговое питание составляет более 50% их годового стока. На территории страны наблюдаются две волны половодья: первая (весенняя) волна формируется в апреле при вскрытии рек ото льда и таянии снежного покрова на равнинной части речных бассейнов, а вторая – в мае-июне за счет таяния снега и ледников на склонах и вершинах гор.

Геосистемы горной страны мы разделили на 13 типологических групп (ландшафтов), учитывая высотно-поясную и структурно-ярусную неоднородность территории [Кирста и др., 2011]. В результате каждый из 34 речных бассейнов был разделен на водосборные зоны-ландшафты с характерным для них гидрологическим режимом. Водные стоки с этих зон складывались на выходном створе речных бассейнов, где выполнялись измерения речного стока.

Для ИА/САМ весенних половодий мы использовали данные Гидрометеорологической службой России о стоках рек за апрель 1951–2020 гг. В среднем по выходным створам всех бассейнов сток составил около 100 м³/с. Наблюдения за стоками мы дополнили значениями месячных осадков и среднемесячных температур воздуха, GIS-информацией о ландшафтной структуре территории, площади и высоте ланд-

шафтов над уровнем моря в каждом речном бассейне.

Нами была рассчитана единая для Алтае-Саянской горной страны многолетняя помесечная динамика нормированных температур и осадков за все годы. Она определена по данным 11 реперных метеостанций с помощью метода нормирования и пространственного обобщения климатических характеристик [Кирста, 2011; Kirshta, Lovtskaya, 2020]. Сначала температуры и осадки мы перевели в доли/проценты от соответствующих среднемноголетних месячных величин по каждой метеостанции, используя для температур X–IV месяцев их среднемноголетние значения за январь, для V–IX месяцев – за июль, а для осадков всех месяцев года – их среднемноголетние значения за июль. Затем были рассчитаны средние по метеостанциям значения нормированных характеристик. Полученная помесечная многолетняя динамика нормированных температур и осадков была одинаковой для всех 34 речных бассейнов страны и не зависела от координат или высоты характеризующей территории.

Речные стоки 34 рек нами были нормированы на их среднемноголетние значения по каждому бассейну аналогично метеорологическим факторам. Площади ландшафтов (км²) в каждом бассейне также были переведены в доли/проценты путем их деления на площадь бассейна.

В целом, база данных для ИА/САМ весенних половодий на территории Алтае-Саянской горной страны включала следующие характеристики: гидрологические (около 2000 нормированных величин стока в апреле для 34 рек за отдельные

годы периода 1951–2020 гг.), метеорологические (840+840=1680 нормированных месячных значений температур воздуха и осадков), ландшафтные (352 значения площадей и высот, рассчитанных с помощью ArcGIS 10.2).

Результаты и их обсуждение

ИА/САМ весенних (апрельских) половодий на реках Алтае-Саянской горной страны обеспечил создание их высокоточных имитационных балансовых моделей, учитывающих как ландшафтную структуру водосборных территорий (площадь и высоту ландшафтов), так и воздействие среднемесячных температур воздуха и месячных осадков за осенний (сентябрь–ноябрь), зимний (декабрь–март) и весенний (апрель) периоды года. Согласно требованиям ИА/САМ, количество наблюдений за динамикой выходной переменной должно

в 5–10 раз превышать число параметров моделей. В нашем случае одновременно анализировались около 2000 стоков для 34 рек Алтае-Саянской горной страны, что позволило ввести около 40 параметров. Значения последних определялись через решение обратной математической задачи для системы из 2000 уравнений, в которых рассчитываемые стоки были заменены наблюдаемыми на выходных створах речных бассейнов.

После проверки различных вариантов уравнений, описывающих влияние метеорологических условий предшествующей осени и зимы на весеннее половодье, мы определили наилучшую по невязке балансовую модель [Kirsta, Troshkova, 2023b]. Она оказалась подобной ранее разработанной прогнозной модели всего весенне-летнего (апрель–июнь) половодья рек [Kirsta, Lovtskaya, 2021] и имеет 39 параметров:

$$Q^i = H(c_1, c_2, 1, 1, c_3, c_4, P_1) \left\{ \sum_k a_k S_k^i P_1 H(c_9, c_{10}, 1, 1, c_{11}, c_{12}, h_k^i) + \sum_k b_k S_k^i P_2 H(c_5, c_6, 1, 1, c_7, c_8, T_2) H(c_9, c_{10}, 1, 1, c_{11}, c_{12}, h_k^i) \right\} + d, \quad (3)$$

где Q^i – речной сток с бассейна i за апрель конкретного года, нормированный на свое среднемноголетнее значение, $i=1-34$; первое и второе слагаемые в правой части (3) соответствуют вкладам последнего осеннего (IX–XI месяцы) и закончившегося зимнего (XII–III месяцы) периодов соответственно; a_k , b_k – параметры, характеризующие вклад k -го ландшафта за соответствующий период, $k=1-13$; S_k^i – площадь k -го ландшафта в бассейне i , нормированная на площадь последнего; h_k^i – высота ландшафта, метры н.у.м.; P_1 , P_2 – отклонения нормированных месячных

осадков от их среднемноголетних значений в среднем за осенний и зимний периоды соответственно; T_2 – отклонение нормированных среднемесячных температур воздуха от среднемноголетнего значения за зимний период; c_{1-4} , c_{5-8} , c_{9-12} – параметры, характеризующие влияние осенних осадков P_1 и зимней температуры воздуха T_2 на Q^i , а также высоты ландшафтов h_k^i на количество осадков; d – параметр, характеризующий постоянное пополнение ($d>0$) или потери ($d<0$) стока в грунтовые воды и воды трещиноватых пород; H – кусочно-линейная функция (1).

В правой части (3) суммируются 13+13=26 различных ландшафтных гидрологических процессов, обеспечивающих своими вкладами весеннее половодье Q^i в бассейне i . Вклады ландшафтов в первом слагаемом (3) зависят от: осадков P_1 предшествующей осени, промочивших уходящие в зиму почвы, площади S_k^i и высоты h_k^i расположения ландшафтов. Вклады ландшафтов во втором слагаемом (3) обеспечиваются зимними осадками P_2 и зависят от осенних осадков P_1 и зимней температуры

T_2 , которая влияет на испарение влаги с поверхности снежного покрова, а также от S_k^i и h_k^i . Множитель $H(c_1, c_2, 1, 1, c_3, c_4, P_1)$ учитывает обмен влагой между почвами и снежным покровом в зависимости от осеннего промачивания почв осадками P_1 [Танаиенко и др., 1999].

Аналогичным образом была разработана модель весенних половодий с 36 параметрами, учитывающая метеорологические условия апреля [Kirsta, Troshkova, 2022]:

$$Q^i = \sum_k \{a_k S_k^i P_1 H(c_1, c_1, 1, 1, c_2, c_3, T_1) H(c_4, c_4, 1, 1, c_5, c_6, h_k^i)\} + \\ + \sum_k \{b_k S_k^i P_2 H(c_7, c_7, 1, 1, c_8, c_9, T_2) H(c_4, c_4, 1, 1, c_5, c_6, h_k^i)\} + c_{10}, \quad (4)$$

где обозначения переменных аналогичны (3); первое и второе слагаемые уравнения (4) отвечают вкладам Q^i в от осадков за зимний (декабрь-март) и текущий (апрель) периоды соответственно; P_1, P_2 – отклонения нормированных месячных осадков от их среднегодовых значений в среднем за декабрь-март и апрель соответственно; T_1, T_2 – аналогичные отклонения нормированных среднемесячных температур воздуха за те же периоды; параметры $c_1, \dots, c_9$ отражают влияние температур T_1, T_2 и высот h_k^i на Q^i ; параметр c_{10} аналогичен d в (3).

Прикладное использование моделей половодий (3) и (4) для какого-либо конкретного речного бассейна позволяет исключить ряд параметров и учесть его специфику через новые значения последних, что обеспечивает повышение адекватности и точности моделей [Kirsta, Troshkova, 2022; Kirsta, Troshkova, 2023b]. Здесь исключаются изменения ландшафтной структуры бассейна, высот и площадей его

ландшафтов. В частности, вместо 26 параметров a_k, b_k в (3) и (4) остаются только два a, b . Для таких прикладных вариантов моделей были получены из (2) следующие значения их адекватности A_0 : ~0.34 для (3) и ~0.41 для (4). По A_0 рассчитан показатель качества моделей $NSE = 1 - 2A_0^2$, который составил 0.77 и 0.66 соответственно. Полученные значения NSE соответствуют хорошему ($0.65 < NSE \leq 0.75$) и очень хорошему ($0.75 < NSE$) качеству/точности гидрологических моделей [Koch, Cherie, 2013], а значит модели адекватно оценивают влияние метеорологических условий на весенние половодья для рек Алтае-Саянской горной страны.

На рисунке 1 показана зависимость стока рек (р. Катунь) от температур воздуха и осадков за предшествующие осенний и зимний периоды согласно модели (3). Мы видим простую линейную связь весеннего стока с осадками обоих периодов (рис. 1а), отличающуюся от более сложного влияния

этих осадков на весенне-летнее половодье в целом за апрель-июнь [Kirsta, Lovtskaya, 2021]. Эта связь легко объясняется частичным оттаиванием почв в апреле, что ограничивает просачивание талых вод в почвы [Танасиенко и др., 1999] и способствует их прямому поступлению в реки. Зависимость стока рек от зимних температур и осадков показана на рис. 1b. Более сложное влияние этих факторов подобно их воздействию на весенне-летнее половодье [Kirsta, Lovtskaya, 2021]. Показанная на рис. 1b зависимость отличается только более узким диапазоном изменений речного стока. Это опять обусловлено частичным оттаиванием почв в апреле и мало меняющейся площадью снежного покрова в этом месяце. Таяние же снежного покрова под действием постоянной солнечной радиации обеспечивает стабильное поступление талых вод в реки.

Рассмотрим зависимость весеннего половодья от метеорологических условий зимы (рис. 2a). При теплых зимах с температурами $T_1 > 0.2$ речные стоки уменьшаются с осадками P_1 , при $T_1 \sim 0$ растут, а при низких $T_1 < -0.2$ перестают зависеть от осадков. Действительно, при теплой зиме с $T_1 > 0.2$ промерзание почвогрунтов уменьшается с увеличением осадков P_1 из-за большей толщины снежного покрова. Весной это приводит к глубокому промачиванию почв и удержанию ими большого количества талой влаги, что уменьшает речные стоки. В обычные зимы с $T_1 \sim 0$ мы видим резкое увеличение стоков за счет таяния снега под воздействием солнечной радиации, часть которой расходуется на прогревание почвогрунтов. Эта часть уменьшается при увеличении осадков P_1 , а значит и толщины снежного покрова, препятствующему значительному промерзанию почвогрунтов.

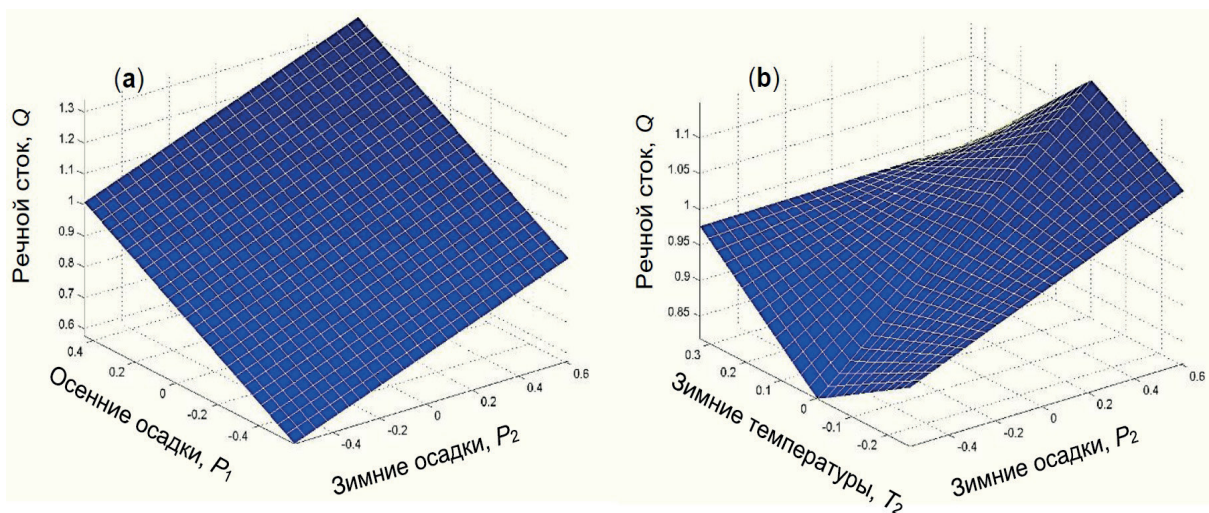


Рис. 1. Зависимость весенних половодий с ледоходом от температур воздуха и осадков за предшествующую осень и зиму согласно модели (3) (показаны отклонения нормированных метеорологических характеристик от их среднееголетних). а – речной сток Q в апреле как функция осадков P_1 (IX–XI месяцы) и P_2 (XII–III); б – речной сток Q в апреле как функция температуры T_2 (XII–III) и осадков P_2

Fig. 1. Dependence of spring floods on air temperature and precipitation for the preceding autumn and winter in (3) (we show the deviations of normalized meteorological characteristics from their long-term averages). а – April runoff Q as a function of precipitation P_1 (IX–XI months) and P_2 (XII–III); б – April runoff Q as a function of temperature T_2 (XII–III) and precipitation P_2

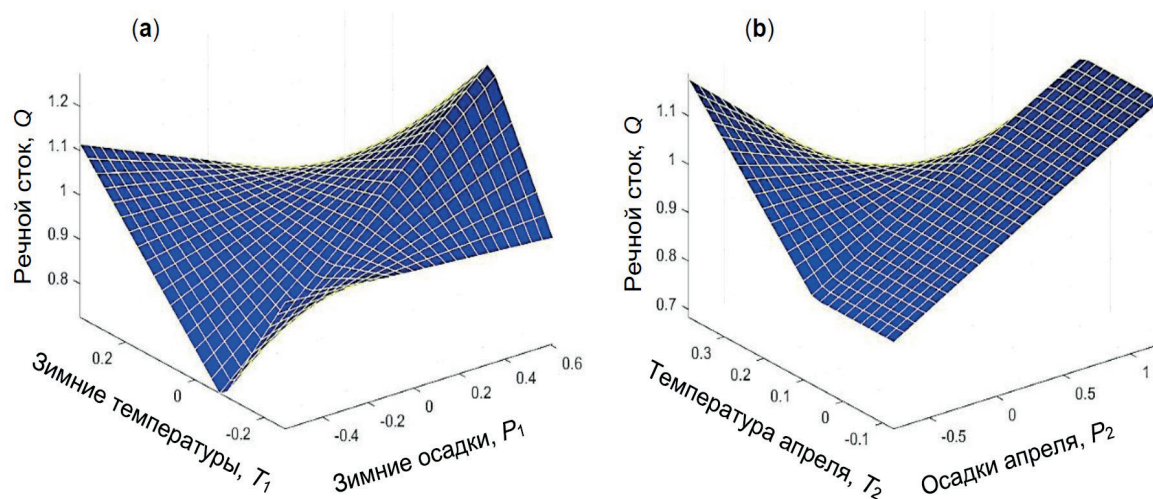


Рис. 2. Зависимость весеннего половодья с ледоходом от температур воздуха и осадков за предшествующую зиму и апрель согласно модели (4) (показаны отклонения нормированных метеорологических характеристик от их среднееголетних). *a* – речной сток Q в апреле как функция T_1 и P_1 за XII–III месяцы; *b* – речной сток Q в апреле как функция T_2 и P_2 за апрель

Fig. 2. Dependence of spring floods on air temperature and precipitation for the preceding winter in (4) (we show the deviations of normalized meteorological characteristics from their long-term averages). *a* – April runoff Q as a function of temperature T_1 and precipitation P_1 for XII–III months; *b* – April runoff Q as a function of temperature T_2 and precipitation P_2 for April

В холодные зимы с $T_1 < -0.2$ и сильно промерзшими почвогрунтами весенняя талая влага в почвы практически не поступает и полностью скатывается в реки. Ее количество определяется постоянной солнечной радиацией и слабо зависит от P_1 .

На рис. 2b при температурах апреля $T_2 > 0.2$ мы опять видим уменьшение речных стоков с ростом осадков. Это может быть связано со значительным альбедо свежевыпавшего снега, уменьшающего количество поглощенной снежным покровом солнечной радиации и, следовательно, количество талой воды. С понижением температуры стоки уменьшаются и при $T_2 < 0.1$ перестают от нее зависеть. Эти стоки увеличиваются при росте осадков P_2 и уменьшенном задержании талой влаги почвогрунтами вследствие задержки оттаивания последних из-за пониженных T_2 .

Таким образом, разработанная мето-

дология ИА/CAM позволила определить сложную зависимость весенних половодий в апреле от метеорологических факторов для горных территорий (рис. 1, 2). Отметим, что используемые в моделях (3), (4) нормированные осадки, температуры и речные стоки легко перевести в стандартные единицы измерений (мм, °C, м³/с) путем умножения на соответствующие среднееголетние характеристики.

Выводы

1. Разработанная методология интеллектуального анализа экспериментальных данных (системно-аналитического моделирования) успешно применена для разработки универсальных аналитических моделей весенних половодий с ледоходом в апреле на 34 реках Алтае-Саянской горной страны.

2. Построенные аналитические модели

половодий характеризуются высоким качеством и адекватно учитывают основные факторы среды, включая ландшафтную структуру водосборных территорий, помесячные изменения метеорологических факторов, площадь и высоту расположения ландшафтов.

3. Выявленные сложные зависимости весенних половодий от месячных осадков и среднемесячных температур воздуха с сентября по апрель являются универсальными, так как характеризуют ежегодные стоки с большого числа речных бассейнов, значительно отличающихся по орографии,

климатическим характеристикам и слагающим их ландшафтам.

4. Упрощенный вариант модели (3) весенних половодий в конкретных речных бассейнах можно использовать для среднесрочных прогнозов половодий по данным метеорологических наблюдений за сентябрь-март, получая высокое значение критерия Нэша-Сатклиффа $NSE=0.77$. Качество прогнозов может быть далее улучшено по модели (4) при учете стандартных метеорологических прогнозов температур воздуха и осадков на апрель месяц.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 22-27-00058), а в части разработки методологии интеллектуального анализ совместно с государственным заданием 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

Алексеев Д.С., Щекочихин О.В. Технологии интеллектуального анализа данных. Учебник для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 176 с.

Кирста Ю.Б. Пространственное обобщение климатических характеристик для горных территорий // Мир науки, культуры, образования. 2011. № 3 (28). С. 330–337.

Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю. Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2014. 283 с.

Кирста Ю.Б., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Типизация ландшафтов для оценки речного стока в Алтае-Саянской горной стране // Устойчивое развитие горных территорий. 2011. №2(8). С. 51–56.

Танасиенко А.А., Путилин А.Ф., Артамонова В.С. Экологические аспекты эрозийных процессов: Аналит. обзор. Ин-т почвоведения и агрохимии / Науч. ред. И.М. Гаджиев. Новосибирск, 1999. 89 с.

Funes A., Dasso A. Methods and Techniques of Data Mining. In: Encyclopedia of Information Science and Technology, Fifth Edition, edited by Mehdi Khosrow-Pour D.B.A. Hershey, PA: IGI Global, 2021. P. 749–767.

Kirsta Y.B. System-analytical modelling – Part I: General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // *Ecological Modelling*. 2006a. Vol. 191. P. 315–330.

Kirsta Y.B. System-analytical modelling – Part II: Wheat biotime run and yield formation. Agroclimatic potential, Le Chatelier principle, changes in agroclimatic potential and climate in Russia and the U.S. // *Ecological Modelling*. 2006b. Vol. 191. P. 331–345.

Kirsta Y.B., Lovtskaya O.V. Spatial year-ahead forecast of air temperature and precipitation in large mountain areas // *SN Applied Sciences*. 2020. Vol. 2. P. 1044.

Kirsta Y.B., Lovtskaya O.V., Puzanov A.V. The Forecast of Climate Changes in Altai-Sayan Mountain Country till 2030 // *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. Vol. 2534. P. 114–117.

Kirsta Y.B., Puzanov A.V. System-Analytical Modeling of Water Quality for Mountain River Runoff // Pandey B.W., Anand S. (Eds). *Water Science and Sustainability / Sustainable Development Goals Series*. Springer, Nature. 2021. Chapter 7.

Kirsta Y.B., Puzanov A.V. System-analytical modelling: 1. Development of regional models for mountain river runoff // *EJMCA*. 2020. Vol. 8. No 2. P. 69–85.

Kirsta Y.B., Troshkova I.A. Deep process-data mining for building of analytical models: 1. Medium-term forecast of spring flood extremes for mountain rivers // *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*. 2023a. Vol. 11. Issue 3. P. 76–97.

Kirsta Y.B., Troshkova I.A. High-performance forecasting of spring flood in mountain river basins with complex landscape structure // *Water*. 2023b. Vol. 15 (6). P. 1080.

Kirsta Y.B., Troshkova I.A. The influence of winter-spring temperatures and precipitation on the spring flood wave // *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*. 2022. Vol. 10. Issue 2. P. 4–10.

Kirsta Y.B.; Lovtskaya O.V. Good-quality long-term forecast of spring-summer flood runoff for mountain rivers. *Water Resour. Manage*. 2021. Vol.35. P. 811–825.

Klijn F., Lang M., Bakonyi P. Integrated flood risk management: Novel approaches for an uncertain future. *Water Secur*. 2022. Vol. 17. P. 100125.

Koch M., Cherie N. SWAT-modeling of the impact of future climate change on the hydrology and the water resources in the upper blue Nile river basin, Ethiopia // *Proceedings of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research, ICWRER (June 3–7, 2013)*. Koblenz, Germany, 2013. P. 428–523.

Li Z., Lyu S., Meng X. Changes in climate and snow cover and their synergistic influence on spring runoff in the source region of the Yellow River. *Sci. Total Environ*. 2021. Vol. 799. P. 149503.

Ma Z., Yan L. Data modeling and querying with fuzzy sets: A systematic survey // *Fuzzy Sets and Systems*. 2022. Vol. 445. P. 147–183.

References

Alekseev D.S., Shchekochihin O.V. Tekhnologii intellektual'nogo analiza dannyh [Data

mining technologies]. Uchebnik dlya vuzov. Sankt-Peterburg: Lan', 2022. 176 p. (in Russian).

Kirsta Yu.B. Prostranstvennoye obobshcheniye klimaticheskikh kharakteristik dlya gornykh territoriy [Spatial generalization of climatic characteristics in mountain areas] // Mir nauki, kultury, obrazovaniya [The World of Science, Culture, Education]. 2011. No. 3(28). P. 330–337. (in Russian).

Kirsta Yu.B., Kirsta B.Yu. Informatsionno-fizicheskiy zakon postroyeniya evolyutsionnykh sistem. Sistemno-analiticheskoye modelirovaniye ekosistem [The Information-Physical Principle of Evolutionary Systems Formation, System-Analytical Modeling of Ecosystems]. Barnaul: Izd-vo Alt. gos. un-ta. 2014. 283 p. (in Russian).

Kirsta Yu.B., Lubenets L.F., Chernykh D.V. Tipizatsiya landshaftov dlya otsenki rechnogo stoka v Altaye-Sayanskoy gornoy strane [Typological classification of landscapes for river flow estimation in Altai-Sayan mountainous country] // Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy [Sustainable Development of Mountain Territories]. 2011. No. 2(8). P. 51–56. (in Russian).

Tanasienko A.A., Putilin A.F., Artamonova V.S. Ekologicheskie aspekty erozionnykh processov: Analit. Obzor [Environmental Aspects of Erosion Processes. An Analytical Review] / Nauch. red. I.M. Gadzhiev. Novosibirsk, 1999. 89 p. (in Russian).

Funes A., Dasso A. Methods and Techniques of Data Mining. In: Encyclopedia of Information Science and Technology, Fifth Edition, edited by Mehdi Khosrow-Pour D.B.A. Hershey, PA: IGI Global, 2021. P. 749–767.

Kirsta Y.B. System-analytical modelling – Part I: General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // Ecological Modelling. 2006a. Vol. 191. P. 315–330.

Kirsta Y.B. System-analytical modelling – Part II: Wheat biotime run and yield formation. Agroclimatic potential, Le Chatelier principle, changes in agroclimatic potential and climate in Russia and the U.S. // Ecological Modelling. 2006b. Vol. 191. P. 331–345.

Kirsta Y.B., Lovtskaya O.V. Spatial year-ahead forecast of air temperature and precipitation in large mountain areas // SN Applied Sciences. 2020. Vol. 2. P. 1044.

Kirsta Y.B., Lovtskaya O.V., Puzanov A.V. The Forecast of Climate Changes in Altai-Sayan Mountain Country till 2030 // CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2534. P. 114–117.

Kirsta Y.B., Puzanov A.V. System-Analytical Modeling of Water Quality for Mountain River Runoff // Pandey B.W., Anand S. (Eds). Water Science and Sustainability / Sustainable Development Goals Series. Springer, Nature. 2021. Chapter 7.

Kirsta Y.B., Puzanov A.V. System-analytical modelling: 1. Development of regional models for mountain river runoff // EJMCA. 2020. Vol. 8. No 2. P. 69–85.

Kirsta Y.B., Troshkova I.A. Deep process-data mining for building of analytical models: 1. Medium-term forecast of spring flood extremes for mountain rivers // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. 2023a. Vol. 11. Issue 3. P. 76–97.

Kirsta Y.B., Troshkova I.A. High-performance forecasting of spring flood in mountain river basins with complex landscape structure // Water. 2023b. Vol. 15 (6). P. 1080.

Kirsta Y.B., Troshkova I.A. The influence of winter-spring temperatures and precipitation on the spring flood wave // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. 2022. Vol. 10. Issue 2. P. 4–10.

Kirsta Y.B.; Lovtskaya O.V. Good-quality long-term forecast of spring-summer flood runoff for mountain rivers. Water Resour. Manage. 2021. Vol.35. P. 811–825.

Klijn F., Lang M., Bakonyi P. Integrated flood risk management: Novel approaches for an uncertain future. Water Secur. 2022. Vol. 17. P. 100125.

Koch M., Cherie N. SWAT-modeling of the impact of future climate change on the hydrology and the water resources in the upper blue Nile river basin, Ethiopia // Proceedings of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research, ICWRER (June 3–7, 2013). Koblenz, Germany, 2013. P. 428–523.

Li Z., Lyu S., Meng X. Changes in climate and snow cover and their synergistic influence on spring runoff in the source region of the Yellow River. Sci. Total Environ. 2021. Vol. 799. P. 149503.

Ma Z., Yan L. Data modeling and querying with fuzzy sets: A systematic survey // Fuzzy Sets and Systems. 2022. Vol. 445. P. 147–183.

INFLUENCING METEOROLOGICAL FACTORS ON SPRING FLOODS OF MOUNTAIN RIVERS

Y.B. Kirsta, I.A. Troshkova

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul

E-mail: kirsta@iwep.ru, egorka_iren@mail.ru

The influence of environmental factors on spring (April) floods of 34 medium and small rivers in the Altai-Sayan mountain country was studied. Using the developed methodology for intelligent analysis of experimental data (system analytical modeling), we developed an analytical models and revealed a complex dependence of floods on monthly precipitation and average monthly air temperatures from September to April, as well as the height and landscape structure of the river basins. We characterized changing meteorological factors via a percentage of their long-term average values that allowed to unify their monthly and long-term dynamics throughout the country. Data on the relief and landscape structure of river basins were calculated by ArcGIS 10.2 using landscape maps of the territory. Model development and quantification of environmental factor influence on floods were carried out by solving an inverse mathematical problem using about 2000 values of river flows observed in 1951–2020. The high quality, simplicity and universality of the models enable us to use them in forecasting spring floods of mountain rivers.

Keywords: spring flood; mountain rivers; meteorological factors; landscapes; intelligent analysis; Altai; Sayan.

Received October 21, 2023. Accepted: November 22, 2023

Сведения об авторах

Кирста Юрий Богданович – 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: 0000-0001-8990-3190. E-mail: kirsta2007@mail.ru.

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.

Information about the authors

Kirsta Yuri Bogdanovich – Dr. Sc. in Biology, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-8990-3190 E-mail: kirsta2007@mail.ru.

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.

УДК 502.7 + 577.4

ОБ УСЛОВИЯХ ПРОТЕКАНИЯ ЦИКЛОВ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕЛЕЦКОМ ОЗЕРЕ: АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.А. Цхай^{1,2}, М.А. Романов³

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

² *Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул*

³ *Алтайский государственный университет, г. Барнаул*

Объектом исследования является Телецкое озеро. Цель работы – анализ существующей исходной информации для моделирования циклов биогеохимической трансформации соединений азота и фосфора в объекте исследования. Выполненное в данной работе обзорное исследование может служить фактологической основой для моделирования состояния водной экосистемы Телецкого озера.

Ключевые слова: Телецкое озеро; математическая модель; лимнология; метеорология; гидрология; гидрохимия; гидробиология; трансформация; биогеохимический цикл.

DOI:10.24412/2410-1192-2023-17104

Дата поступления: 24.10.2023. Принята к печати: 20.11.2023

В соответствии с Указом¹ Президента о том, что жизнедеятельность и развитие Российской Федерации к числу целевых природных экосистем определяется показателями, характеризующими достижение национальных целей к 2030 году, числе недостатком пищи (ограничением отнесено экологическое оздоровление трех водных объектов, в том числе Телецкого озера (ТО). В этой связи переоценить актуальность исследования, оценки и моделирования химического состава ТО – уникального природного хранилища чистой пресной воды – невозможно.

Цель данной работы – анализ существующей исходной информации для моделирования циклов биогеохимической трансформации соединений азота и фосфора в ТО.

В настоящий момент исследователями биогенных элементов в рассматриваемых в мире широко используется положение конкретных природных условиях.

¹ Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. N 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» // Российская газета. Федеральный выпуск. 22 июля 2020 г. №159(8213).

Для эффективного анализа и моделирования сложного объекта, каким является экосистема ТО, требуется синхронизированная информация за репрезентативный период по основным гидрофизическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям. К сожалению, приходится констатировать, что информационного обеспечения, достаточного для достижения цели нашей работы, на текущий момент для ТО – нет, хотя исследования в этом направлении ведутся, начиная с работ В.В. Селегея в 60–70-е годы XX века [Селегей, Селегей, 1978] и далее [Васильев и др., 1996; Зиновьев и др., 2012; Пузанов и др., 2019]. Однако, полнота информации, полученной в их рамках, для моделирования циклов биогенных элементов оставляет желать лучшего.

Поэтому для разработки соответствующего модельного подхода целесообразно использовать сценарный путь на основе анализа мониторинговых данных Государственной системы наблюдений Росгидромета с учетом особенностей экосистемы ТО, охарактеризованных в существующих публикациях.

Особенности морфометрии объекта исследований

Телецкое озеро (ТО) занимает 5-е

место в России по глубине (табл. 1). Его ложе образовано грабеноподобной относительно узкой расщелиной тектонического происхождения. Берега ТО, окруженные горами, обрывистые и скалистые, имеют волноприбойные заливы и мысы. Принято выделять два плеса ТО: меридиональный глубоководный (100–300 м) от устья р. Чулышман до мыса Караташ и широтный мелководный от этого мыса до истока р. Бия. Меридиональный отличается трапециевидной формой с относительно ровным дном и крутыми (60–70°) подъемами. Широтный сужается к р. Бия неширокой полосой с относительно волнообразным рельефом дна [Селегей, Селегей, 1978].

Метеорологические условия

Местоположение ТО отличается своеобразным лимноклиматом, определяемый локальными метеорологическими факторами (характеристики местных ветров, осадков, ледово-термических условий, туманов и пр.), который в основном зависит от физико-географических условий объекта. Можно выделить градиенты от южной оконечности ТО – к северо-западному участку: снижения температуры воды, удлинения продолжительности ледового покрова, высоты и продолжительности снежного покрова, снижения среднегодовых температур воздуха.

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики ТО [Селегей, Селегей, 1978]

Table 1

The main morphometric characteristics of Lake Teletskoye [Selegej, Selegej, 1978]

Площадь зеркала, км ²	Длина, км	Ширина, км		Глубина, м		Объем, км ³	Длина береговой линии, км	Развитие береговой линии, км
		средняя	максимальная	средняя	максимальная			
223	77.8	2.9	5.2	174	325	40	181	3.3

Большая открытость широтной части ТО циклональным переносам определяет названные климатические особенности. Неслучайно совпадение перечисленного с направлением антициклонального переноса теплых воздушных масс,двигающихся в долину ТО со стороны устья р. Чулышман. Летом среднемесячная скорость ветра составляет около 1.0 м/с. В осенне-зимний период наблюдается ее увеличение – до приблизительно 3.0 м/с. В холодный период года по диапазону температур воздуха характеризуемая часть ТО с устьем р. Чулышман являются самым теплым местом Южной Сибири. При этом температурный режим воздуха в долине ТО отличают высокая внутрисуточная и внутримесячная изменчивость, вертикальная и латеральная неустойчивость. Годовая интенсивность солнечной радиации в котловине ТО оценивается как 85.1 (ккал/см²/год) при максимальном значении в июне-июле – около 14.0 (ккал/см²/мес). Среднегодовой радиационный баланс составляет примерно 27.0 ккал/см² и определяется прозрачностью атмосферы (в среднем 0.76 в году), облачностью (6.8 балла), а также наличием туманов испарения, а также конденсации. Для учета особенностей ТО можно использовать актинометрические и метеорологические данные специализированной станции в пос. Яйлю [Селегей, Селегей, 1978].

Гидрологические условия

Основные гидрологические характеристики ТО таковы: среднемноголетний уровень воды – 433.8 м со среднегодовой амплитудой колебаний около 3.5 м

(максимально – 6.2 м). Четко выражены характерные периоды: относительно быстрое (40–50 дней) половодье; длительная (около 140 дней) летне-осенняя межень (июнь-октябрь), с частыми дождевыми паводками, затем устойчивая продолжительная (порядка 155 дней) зимняя межень (конец октября – начало апреля). ТО принадлежит к умеренному типу водных объектов по гидротермическим условиям. Здесь дважды в год после ледового периода весной и перед замерзанием осенью появляется термическая неустойчивость и наблюдается термическая конвекция (вертикальная циркуляция вод). В течение года имеют место два периода повышения температуры и два – снижения. Температура относительно холодной воды ТО (около 0.5°C, на глубине до 4°C) летом заметно увеличивается, в среднем, до 16°C на поверхности. В первой половине осени температура воды снижается до приблизительно 9°C, но становится выше температура глубоких слоев ТО. Годичный термический цикл завершает осенняя гомотермия [Дучков и др., 1995]. Среднемесячные температуры воды в ТО, усредненные за 23 года (1953–1976 гг), приведены в монографии [Селегей, Селегей, 1978].

Полный ледостав на ТО периодически отсутствует. Широтная часть ТО замерзает каждый год, в основном, в январе, а меридиональная – примерно раз в три года (за последние 45 лет). Толщина льда в среднем – 35 см. Период ледообразования растягивается часто на 4 месяца (ноябрь – март), а его разрушение на 2 месяца

(с середины марта). Для ТО характерны ветровые, гравитационные, конвективные (разноплотностные), компенсационные (сейшевые) стоковые течения. Последние могут накладываться друг на друга, увеличивая амплитуду, но могут действовать и разнонаправленно.

ТО – проточное, в него впадает порядка 70 средних и малых рек, а вытекает р. Бия. Площадь водосбора ТО составляет примерно 20 тыс. км² и представляет собой горную область, вытянутую на 235 км с юго-востока на северо-запад. Самый крупный из притоков ТО – р. Чулышман, более мелкие – реки Кыга, Кокши, Колдор и др.

Гидрофизические процессы в Телецком ТО с точки зрения моделирования биогенных циклов достаточно хорошо изучены, и это знание продолжает углубляться [Zinoviev, 1994; Квон, 1998; Квон и др., 2000а; Квон и др., 2000б; Зиновьев, 2002; Бочаров и др., 2003; Зиновьев и др., 2005; Афанасьев, 2006; Зиновьев и др., 2010; Данчев, 2013; Пушистов, Викторов, 2016; Зиновьев и др., 2021; Koshelev et al, 2021]. Перечень источников – неполный, перечисленные работы отличаются тем, что содержат информацию, которая может пригодиться при дальнейшем моделировании трансформации питательных веществ.

ТО относится к стоково-проточным водоемам. Для оценки внутригодового водообмена предназначен водный баланс ТО, который был рассчитан в Российском государственном гидрометеорологическом университете в Санкт-Петербурге, под руководством профессора Н.Б. Барышникова [Рачкин, 2018]. Оценка

гидрометеорологических условий и определяемые ими характеристики водного режима ТО в упомянутой работе даны за гидрологический год (с 1 сентября 2015 года по 31 августа 2016 года). Также условными считаются временные границы гидрологических сезонов: осень (сентябрь – ноябрь), зима (декабрь – март), весна (апрель – июнь), лето (июль – август). Для описания ТО использованы данные гидрологических постов: Артыбаш, Кокши, Кыгинский залив и Яйлю.

Условия модельного года

Средняя температура воздуха осенью 2015 года была на 0.5°C выше нормы. Ее первые отрицательные значения имели место в середине октября. Далее неоднократно тепло в течение периода: октябрь – конец ноября возвращалось в широтной части ТО, и в первой и третьей декадах ноября – в остальных частях ТО. В связи с значительным похолоданием в третьей декаде ноября появились кратковременные ледовые образования в широтной части ТО. Ледовые явления проявились 28 ноября, что позже нормы на 9 дней. Продолжительность осенних ледовых явлений продлилась больше среднего периода на 3 дня.

На 0.2–0.8°C выше нормы оказались среднемесячные значения температуры воды. Температура воды опустилась ниже характерных отметок 10°C и 4°C, в основном, позже обычного в основной части акватории ТО, кроме стыка меридиональной и широтной частей, а также средин меридиональной и широтной частей ТО, соответственно. Выше

средних значений (136%) выпало осадков, большей частью – в сентябре, что привело к подъему уровня воды в ТО. Поверхностный приток в ТО был 107% нормы. На 2 см меньше нормы оказался средний уровень воды за сезон.

Теплой и малоснежной выдалась зима 2015–2016 гг.: средняя температура воздуха превысила среднемноголетние значения на 3.8°C, а количество осадков составило 56% от нормы. Среднесуточные значения температуры воздуха опустились ниже 0°C в конце декабря, но уже в первой декаде февраля температура воздуха достигла положительных значений.

В декабре в среднем на 0.9°C выше обычных значений была отмечена температура воды. Переход температуры воды через 0.2°C произошел в широтной части ТО на 3 дня раньше нормы.

Из-за теплой зимы ледовые явления образовались позже, чем обычно: на стыке широтной и меридиональной частей ТО – на 27 дней: только в виде сала – в отдельные дни, на юге меридиональной части ТО (в заливе) – на 21 день: только в виде припая и заберегов. В отмеченный год они и закончились раньше, чем обычно: на стыке – на 24 дня, на юге – на 43 дня. В широтной части ТО ледостав образовался на 12 дней позже нормы. Толщина льда в широтной части ТО была меньше нормы: с начала сезона – на 12 см, к его концу – на 4 см.

Объем поверхностного притока в ТО составил 118% нормы, а уровень воды ТО был на 25 см выше среднегодовой величины. Весенняя температура воздуха превысила норму на 1.5°C. Осадков выпало

больше среднегодовой величины – 122% нормы. Весной были только положительные температуры воздуха. В широтной части ТО разрушение и очищение ото льда были раньше, чем обычно, на 16 и 18 дней. Весенний подъем уровня воды в ТО начался в самом начале сезона, был затяжным, достиг максимального значения 9-го июня и был на 29 см выше среднегодовой величины указанной характеристики. Весной и даты перехода температуры воды наступили раньше нормы: через 0.2° в широтной части ТО – на 13 дней; через 4°C в широтной части – на 30 дней, на стыке широтной и меридиональной частей – на 22 дня, в середине и на юге меридиональной части – на 25 и 8 дней соответственно. Среднемесячные значения температуры воды были весь год выше нормы на 0.8–4.2°C.

Летом средний уровень воды был на 41 см выше среднегодовой величины указанной характеристики, поверхностный приток в ТО составил 135% нормы. Летняя температура воздуха была выше средней в этот сезон на 1.3°C. Осадков выпало 78% от среднегодовой величины указанной характеристики. Средняя за месяц температура воды превысила норму на 6.0°C в июле и на 2.6°C в августе. Средний уровень воды ТО был на 5 см выше нормы, а поверхностный приток в ТО составил лишь 98% от среднегодовой величины указанной характеристики.

Рассмотренный гидрологический год стал теплее среднемноголетнего на 2.0°C. Выпавшие осадки составили 105% нормы, по сезонам было: весна – 40%, лето – 23%, осень – 31%, зима – 6%. Среднегодовой

уровень воды был отмечен на 19 см выше нормы, а поверхностный приток в ТО составил 128% нормы.

Гидрохимические условия

Как отмечено в [Отчет...,1989]: «многолетние наблюдения химического состава воды ТО позволяют считать ее ультрапресной мягкой слабощелочной водой сульфатно-гидрокарбонатного магниево-натриево-кальциевого типа с выровненным по глубине гидрохимическим составом и газовым режимом». Как особенность химсостава воды ТО и его основных притоков отмечают сезонную динамику изменения составляющих, что более явно проявляется для речных вод. Во время весеннего половодья за счет влияния притока слабоминерализованных талых вод в водоемах отмечается уменьшение значений большей части физико-химических показателей, кроме растворенного кислорода, ХПК и т.п. [Природа..., 1967]. В ТО аналогичная сезонная динамика изменения химического состава воды наблюдается даже в зонах антропогенного влияния. Интересно, что величины индикаторов озерной воды обычно располагаются между значениями

характеристик для западных и восточных притоков ТО.

Питательные вещества в ТО представлены фосфором, кремнием, азотом и др. (первые два – см табл. 2). Их содержание является определяющим фактором трофического статуса водоема, поскольку биогены составляют основу рациона 1-го трофического уровня экосистемы – фитопланктона. Обычно считают, что лимитирующим элементом экосистемы ТО является фосфор. Содержание фосфатов в ТО невысокое – 0.01–0.30 г/м³ при среднем 0.02 г/м³. Повышение (до первых десятых долей мг/дм³) приурочено, как правило, к селитебным участкам и рекреационным зонам в северо-западной части ТО. Содержание кремния в озерной воде в среднем составляет 2.24 г/м³ при колебаниях от 2.1 до 3.9 г/м³. Отметим, что его распределение коррелируется с соответствующими характеристиками хлорофилла «а», а также азота и фосфора [Отчет...,1989].

Минеральный азот в воде ТО представлен в большей степени нитратами. Существенно меньше нитритов и аммонийных соединений. Диапазон концентраций названных соединений меняется значительно, максимален – в период весеннего половодья.

Таблица 2

Среднее содержание и отношение химических элементов в природных водах района ТО [Шевченко, 2010]

Table 2

The average content and ratio of chemical elements in the natural waters of the Teletskoye Lake area [Shevchenko, 2010]

Элементы	Среднее содержание по типам вод, г/м ³				Соотношение С : Р : О : П
	снеговая (С)	речная (Р)	озерная (О)	подземная (П)	
Si	0.21	3.17	2.24	6.66	1 : 15 : 11 : 32
P	0.171	0.013	0.018	0.015	11 : 13 : 1.2 : 1

Содержание органических форм азота, в основном, превышает содержание минеральных форм азота.

В воде ТО концентрации биогенных соединений – аммонийного азота (0.04–0.19 г/м³), нитритного азота (0.003–0.012 г/м³), нитратного азота (0.22–0.37 г/м³), минерального фосфора (0.003–0.025 г/м³) в последние годы, как правило, сохраняют стабильность. Концентрация органики по их интегральному показателю – химическому потреблению кислорода (ХПК) – незначительна – 3–7 г/м³ с увеличением в весеннее половодье до 9–13 г/м³. Биохимическое потребление кислорода (БПК), как индикатор уровня присутствия органических веществ, как правило, не превышает существующих эколого-гигиенических норм. Насыщение озерной воды кислородом в среднем по году – 87%. В летне-осенний период иногда бывает перенасыщение до 101–112%. Кислородный режим ТО – достаточно устойчив как в литорали (содержание растворенного в воде O₂ бывает от 9.1 до 13.7 г/м³), так и в пелагиали, соответственно, от 7.9 до 11.4 г/м³. Концентрация кислорода в основном притоке Чулышман и истоке р. Бия стабильно изменяется в пределах от 5.4 до 13.6 г/м³, а также в истоке р. Бия – от 5.5 до 12.5 г/м³, соответственно.

Анализ химических показателей в воде ТО выявил неоднородное распределение с признаками латеральных особенностей. Доминирующая тенденция здесь – в уменьшении содержания большинства гидрохимических индикаторов при переносе вод от южной части ТО на север, что может определяться влиянием

химического стока р. Чулышман [Отчет..., 1989]. Динамика основных видов загрязнения озера, поступающего с прибрежной зоны ТО – аналогичная. Поэтому повышенные концентрации большинства загрязнителей (кроме нитритов) отмечаются в литорали.

На основе анализа пространственно-временного распределения показателей химического состава воды в ТО сделаны следующие выводы [Шевченко, 2010]:

- постепенное изменение по длине ТО уровня присутствия в воде большинства компонентов можно рассматривать как латеральную продольную гидрогеохимическую зональность ТО, обусловленную изменением объема поступающего речного стока и сменой комплекса природных условий;

- эта латеральная гидрогеохимическая зональность проявлена как для поверхностных, так и для глубинных слоев ТО, что косвенно указывает на наличие подводных стратифицированных течений в направлении юг-север;

- установленные гидрогеохимические особенности воды ТО свидетельствуют о преобладающей роли жидкого речного стока в формировании химического состава приповерхностного слоя воды, особенно в южной части ТО, где отчетливо проявлено влияние основного притока – р. Чулышман;

- для ТО характерна также поперечная зональность, проявленная повышенными (пониженными) значениями показателей химического состава воды в осевой зоне субширотного плеса и промежуточными значениями на меридиональном отрезке.

Приведенное выше не противоречит

результатам последующих исследований [Долматова, 2011; Третьякова, 2012; Акулова и др., 2019; Akulova, Bukatyi, 2020]. Это позволяет утверждать, что химический состав воды озера зависит пока, главным образом, от качества вод поверхностного стока. Антропогенный фактор оценивается пока как менее важный. Надо отметить, что химический состав речных вод формируется, как правило, под воздействием атмосферных осадков и, в некоторой степени, за счет подземных вод.

Существенно то, что химический состав озерной воды формируется не только механическим смешением различных природных потоков (с осадками, поверхностных, подземных), но и дальнейшей их трансформацией в ТО. Имеющиеся данные указывают на доминирующую роль смешения различных по генезису природных вод над процессами их метаморфизма при формировании химического состава озерной воды. Этому способствует активный водообмен в озере, низкая температура воды, относительно невысокие концентрации минеральных и органических веществ

и пр. [Селегей, 2009]. Однако, процессы трансформации химического состава воды в ТО, тем не менее, имеют место и также вносят существенный вклад в картину изменчивости биогенных соединений.

К загрязнителям поверхностных вод ТО, как уже отмечалось, относятся минеральные соединения азота (нитриты, нитраты, аммоний), источниками которых являются расположенные в прибрежной зоне населенные пункты, базы отдыха и стоянки туристов. Уровень содержания минерального азота в 1985–2003 гг. и в последние годы в воде ТО остался на прежнем уровне, однако в воде притоков концентрации увеличились на 15–85% (табл. 3). Содержание в воде озера аммония в последние годы в отдельные моменты достигало 3 ПДК, в воде притоков было еще выше, до 7–8 ПДК. Максимальные концентрации нитрит-иона эпизодически достигали в озерной воде – 3–3.4 ПДК, нитрат-иона – 5–10 единиц местного фона. Тем не менее, среднегодовое содержание минеральных форм азота пока заметно ниже ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Таблица 3

Содержание минеральных форм азота в воде ТО
и его притоков (г/м³) [Шевченко, 2010]

Table 3

The content of mineral forms of nitrogen in the water of Lake Teletskoye and
its tributaries (g/m³) [Shevchenko, 2010]

Источник данных	Озерная вода (min-max/среднее)			Речная вода (min-max/среднее)		
	Аммоний	Нитриты	Нитраты	Аммоний	Нитриты	Нитраты
ГСН (1985–2003 гг.)	$\leq 0.05-0.82$ 0.19	$\leq 0.002-0.21$ 0.016	$\leq 0.01-5.05$ 0.95	$\leq 0.05-5.66$ 0.22	$\leq 0.002-1.15$ 0.021	$\leq 0.01-15.23$ 1.37
АРИ «Экология» (2004–2009 гг.)	$\leq 0.05-1.53$ 0.19	$\leq 0.002-0.24$ 0.014	$\leq 0.01-5.71$ 1.19	$\leq 0.05-3.83$ 0.41	$\leq 0.002-0.27$ 0.035	$\leq 0.01-15.30$ 1.58

В качестве основы моделирования биогенных циклов может быть использован набор гидрохимической информации, составленный на основе мониторинговых данных Государственной системы наблюдений Росгидромета, усредненных по месяцам.

Несмотря на, казалось бы, относительно малое химическое загрязнение, вода ТО и большинства его притоков относится в соответствии с положениями Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана к категории «минимально необходимая вода», т.е. не совсем оптимальна для человека. Это связано, в первую очередь, с микроэлементным составом озерной воды, в которой очень низкие концентрации таких жизненно важных элементов как фтор, йод, селен, хром и пр.

В заключение следует указать, что по имеющимся нормативным документам вода ТО относится к категории чистых и слабо загрязненных ультрапресных мягких вод с нейтральной реакцией среды. В большинстве случаев вода ТО удовлетворяет требованиям действующих санитарно-гигиенических нормативов — [Вода..., 1997] (вода питьевая) и [Санитарно-эпидемиологические..., 2002], а также нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения.

Гидробиологические условия

Гидробиологические показатели — существенны для оценки экологического состояния вод, например, в [Митрофанова, 2000; Олигер, 1982]. По упомянутым показателям воду ТО, в основном, относят к I–II классам качества по унифицированной

шестибалльной шкале [Охрана..., 1982] — «очень чистая — чистая».

В составе озерного фитопланктона на текущий момент насчитывается более трехсот видов водорослей, среди которых преобладают диатомовые, золотистые, криптофитовые, в меньшей степени, цианобактерии и зеленые водоросли. Численность и биомасса водорослей варьируются в больших пределах — 1.3–513.8 тыс. кл./л и 0.5–1207.5 мг/м³ соответственно. Среднегодовая численность фитопланктона составляет 14–57 тыс. кл./л, биомасса — 9–44 мг/м³. По этим показателям ТО сравнимо с Байкалом в его малопродуктивные годы [Митрофанова, 2000].

Большая часть водорослей по вертикали сечений ТО сосредоточена на глубинах 0.5–10 м. Их распределение по площади и во времени — неравномерно, при этом существенных различий между широтной и меридиональной зонами ТО — не отмечено. Распределение видов фитопланктона по площади ТО — неоднородно. Биомасса фитопланктона меняется в широких пределах: от 0.08 до 424.6 г/м³. На динамику этой характеристики влияют гидрологические факторы, в том числе связанные с частыми колебаниями уровня воды. По содержанию в поверхностном слое основного фотосинтетического пигмента — хлорофилла «а» в летний период Телецкое озеро сравнимо с другими глубокими озерами мира, но горизонтальное распределение хлорофилла «а» в алтайском водоеме более однородно. Вертикальное распределение основного фотосинтетического пигмента

характеризуется его преобладанием в поверхностном слое (до глубины 10 м) с постепенным снижением до 0.1 мг/м³ на глубине. Оценки средневзвешенного за теплый период содержания хлорофилла «а» (0.3–0.5 мг/м³) позволило в работе [Отчет..., 1989] отнести ТО к типу ультраолиготрофных водоемов. Следует отметить также неблагоприятные для жизнедеятельности растений условия ТО: малая (около 4%) площадь литоральной зоны, набор грунтов, характерных для скалистых территорий, низкое содержание питательных веществ.

Перечень видов зоопланктона ТО содержит около 125 видов. Из них наибольшее количество относятся к группам Cladocera (47 видов), Rotatoria (45) и Copepoda (33 вида). В теплое время года число видов и обилие зоопланктона увеличиваются. Его таксономический список свидетельствует о преобладающих олигосапробных условиях.

Как уже говорилось, в ТО отмечают неблагоприятные условия для жизнедеятельности гидробионтов: незначительное количество биогенного материала в озерной воде, низкие температуры, продолжительные интенсивные процессы перемешивания вод. Эти неблагоприятные для накопления фито- и зоопланктона в верхних наиболее прогретых слоях (до 40 м) условия определяют низкую рыбопродуктивность ТО. В XIX–XX веках максимальные годовые уловы для ТО составляли 0.4–0.7 кг на 1 га акватории, что почти на порядок ниже, чем для Байкала и на два порядка – чем для водоемов поймы

реки Обь [Селегей, 2009].

В [Олигер, 1982; Зуйкова, 1998; Зуйкова и др., 2009; Бурмистрова, 2009] приведены результаты изучения пространственно-временного распределения фитопланктона и зоопланктона в ТО. В связи с задачами моделирования также следует упомянуть и другие исследования состояния сообществ гидробионтов в ТО [Ковешников, 2009; Митрофанова, Воробьев, 2018; Митрофанова, 2018; Mitrofanova, 2019; Кириллова, 2006; Кириллова, 2008].

Жизнедеятельность бактериопланктона ТО изучена явно недостаточно. Следует отметить использование бактерий *Photobacterium phosphoreum* при биотестировании озерной воды в качестве тест-объектов [Методы..., 1989]. Установлено, что вода ТО не оказывает острого токсического действия на тест-объекты. Оценка биолюминесцентным методом качества воды свидетельствовала о незначительном ухудшении последнего в черте населенных пунктов [Тушкова и др., 1992].

О трофическом статусе Телецкого озера

Принято считать, что по состоянию с начала XX века – по сегодняшний день, на протяжении большей части года, трофический статус ТО является олиготрофным (например, [Митрофанова, 2018; Mitrofanova, 2019]). Вместе с тем нужно отметить результаты И.А. Суторихина и И.М. Фроленкова, проводивших гидрооптические измерения в конце июля 2016 г., в фазе полного летнего прогрева воды, и выполнивших оценку трофического статуса ТО на

разных участках и на разных глубинах [Суторихин, Фроленков, 2017]. Для исследований был использован вычисляемый спектральный показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$, который учитывает содержание в воде как взвешенных, так и растворенных веществ (хлорофилл, растворенные органические и неорганические соединения, минеральная и органическая взвесь).

В большинстве случаев по наблюдениям в створах с. Артыбаш, п. Яйлю, рек Чулышман, Челюш, Кокши, Б. Корбу, в Камгинском заливе (рис., табл. 4–5) трофический статус озера оценен как эвтрофный [Суторихин, Фроленков, 2017]. Найти подтверждение этим результатам в исследованиях, выполненных традиционными гидрохимическими или гидробиологическими методами, пока не удалось. С помощью созданной модели

циклов биогенных элементов в озере может быть оценен трофический статус ТО в разное время года, в том числе в период максимального прогрева, равно как и биогенный баланс озера и его акваторий.

Выводы

1. Химический состав воды озера зависит пока, главным образом, от качества вод поверхностного стока; в меньшей степени – от антропогенного воздействия;
2. На основе проведенного анализа исходной информации будет создана и откалибрована точечная модель циклов азота и фосфора в озере;
3. Приложениями создаваемой модели станут предварительная оценка биогенного баланса озера, а также оценка трофического статуса озера в разное время года, в том числе в момент максимального прогрева.

Таблица 4

Расположение мест отбора проб на оз. Телецкое в июле 2016 г [Суторихин, Фроленков, 2017]

Table 4

Location of sampling sites on Lake Teletskoye in July 2016 [Sutorihin, Frolenkov, 2017]

№ места на карте	Координаты места отбора проб		Название места отбора проб
	Широта	Долгота	
1	51.35752	87.82310	Чири
2	51.35190	87.84324	Кыга
3	51.37797	87.78595	Чулышман
4	51.48432	87.72960	Челюш
5	51.57246	87.68117	Кокши
6	51.56671	87.66769	Кокши
7	51.70365	87.66107	Корбу
8	51.76655	87.63532	Окпорок
9	51.75791	87.66034	Камга
10	51.79655	87.71394	Камга
11	51.75398	87.60415	Яйлю
12	51.80928	87.30256	Окпорок-Артыбаш
13	51.78798	87.30163	Артыбаш
14	51.67214	87.68828	Аданьш
15	51.53638	87.69930	Саратки
16	51.45815	87.74204	Артал
18	51.75597	87.40980	Байказан
19	51.75078	87.55366	Нянсочь
20	51.75965	87.37575	Караташ



Рис. Расположение мест отбора проб на оз. Телецкое в июле 2016 г [Суторихин, Фроленков, 2017]

Fig. Location of sampling sites on Lake Teletskoye in July 2016 [Sutorihin, Frolenkov, 2017]

Таблица 5

Трофический статус ТО (по спектральному показателю ослабления света)
[Суторихин, Фроленков, 2017]

Table 5

Trophic status of Lake Teletskoye (according to the spectral indicator of light attenuation)
[Sutorihin, Frolenkov, 2017]

Трофический статус	Глубина, м	(ϵ , m^{-1} 430 нм)	Трофический статус
Кыгинский залив	0	1.51	олиготрофный
р. Челюш	0	2.12	мезотрофный
	10	5.23	эвтрофный
	50	8.99	эвтрофный
	100	4.81	эвтрофный
	200	10.31	эвтрофный
р. Кокши	0	2.12	мезотрофный
	10	2.63	мезотрофный
	50	5.98	эвтрофный
	100	4.40	эвтрофный
	200	5.13	эвтрофный
р. Б. Корбу	0	4.18	эвтрофный
	10	2.84	эвтрофный
	50	4.40	эвтрофный
	100	4.19	эвтрофный
	200	2.33	мезотрофный
	300	3.98	эвтрофный
Камгинский залив	0	4.71	эвтрофный
	10	1.61	олиготрофный
	50	4.29	эвтрофный
	100	3.35	эвтрофный
п. Яйлю	0	2.32	мезотрофный
	10	4.50	эвтрофный
	50	4.18	эвтрофный
	100	5.23	эвтрофный
	200	4.30	эвтрофный
с. Артыбаш	0	4.49	эвтрофный
	10	4.08	эвтрофный
Чулышман	0	5.23	эвтрофный

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declares that he has no conflict of interest.

Работа выполнена 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»).

Список литературы

Акулова О.Б., Букатый В.И., Марусин К.В. Пространственная изменчивость гидрооптических характеристик Телецкого озера // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2019. № 3. С. 16–27. doi: 10.17076/lim947

Афанасьев Е.С. Стратифицированные течения, их взаимодействие и перенос примесей в водохранилищах и озерах: Дисс... кандидата физико-математ. наук. Москва, 2006. 130 с.

Бочаров О.Б., Васильев О.Ф., Квон В.И., Овчинникова Т.Э. Численное исследование гидротермических процессов и процессов переноса в глубоких водоемах // Сибирский экологический журнал. 2003. Т. 10, № 2. С. 221–230.

Бурмистрова О.С. Зоопланктон разнотипных водных экосистем бассейна Верхней Оби: Дисс... кандидата биологических наук. Новосибирск, 2009. 235 с.

Васильев О.Ф., Кириллов В.В., Клеркс Я., Селегей В.В. Комплексные исследования экосистемы Телецкого озера // Гидрологические и экологические процессы в водоемах и их водосборных бассейнах: Материалы Международного симпозиума (26–28 сентября 1995 г., Новосибирск). Новосибирск: Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, 1996. С. 120–122.

Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. ГОСТ 2874-82. Издание официальное. Москва: ИПК издание стандартов. 1997. 10 с.

Данчев В.Н. Разработка и применение информационно-вычислительного комплекса для моделирования циркуляций и термического режима Телецкого озера: Дисс... кандидата технических наук. Новосибирск, 2013. 160 с.

Долматова Л.А. Особенности гидрохимического режима Телецкого озера в период осеннего охлаждения // Мир науки, культуры, образования. 2011. № 6–2(31). С. 417–423.

Дучков А.Д., Клерке Ж., Казанцев С.А. Тепловой поток Телецкого озера // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 10. С. 143–153.

Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Марусин К.В. Кислородный режим Телецкого озера: моделирование и натурные данные // Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: Материалы научной конференции (20–24 сентября 2005 г., Иркутск). Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2005. С. 416–418.

Зиновьев А.Т. Моделирование температурной стратификации Телецкого озера //

Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири: сборник статей. Новосибирск: Институт археологии и этнографии СО РАН, 2002. Вып. 1. С. 212–216.

Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Марусин К.В. Температурный режим Телецкого озера: моделирование и эксперимент // Мир науки, культуры, образования. 2010. № 6–2(25). С. 285–289.

Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Дьяченко А.В., Марусин К.В. Численное моделирование и натурные исследования термобара в Телецком озере // Метеорология и гидрология. 2021. № 5. С. 86–94. doi:10.52002/0130-2906-2021-5-86-94

Зиновьев А.Т., Митрофанова Е.Ю., Третьякова Е.И. [и др.] Комплексные исследования Телецкого озера: термический режим, гидрохимические и гидробиологические характеристики // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Труды Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 25-летию юбилею Института водных и экологических проблем СО РАН (20–24 августа 2012 г., Барнаул). Барнаул, 2012. Том 1. С. 43–47.

Зуйкова Е.И., Шевелева Н.Г., Евстигнеева Т.Д. Сезонная и межгодовая динамика зоопланктона Телецкого озера // Биология внутренних вод. 2009. № 3. С. 47–60.

Зуйкова Е.И. Современное состояние зоопланктонного сообщества Телецкого озера: Дисс... кандидата биол. наук. Красноярск, 1998. 124 с.

Квон Д.В. Математическое моделирование гидротермических процессов в Телецком озере: Дисс... кандидата физико-математ. наук. Барнаул, 1998. 136 с.

Квон Д.В., Квон В.И., Филатова Т.Н. Численное моделирование гидротермических процессов в предустьевой области Телецкого озера // Вычислительные технологии. 2000а. Т. 5, № 5. С. 68–77.

Квон Д.В., Квон В.И., Семчуков А.Н. Численный расчет продольно-вертикальной термической структуры Телецкого озера в годовом цикле // Вычислительные технологии. 2000б. Т. 5, № 3. С. 29–45.

Кириллова Т.В. Пигментные характеристики фитопланктона Телецкого озера: Дисс... кандидата биол. наук. Красноярск, 2006. 220 с.

Кириллова Т.В. Вертикальное распределение и межгодовая динамика пигментных характеристик фитопланктона Телецкого озера // Мир науки, культуры, образования. 2008. № 1(8). С. 4–8.

Ковешников М.И. Пространственное распределение, сезонная динамика зообентоса и оценка экологического состояния водных объектов бассейна реки Бия: Дисс... кандидата биологических наук. Барнаул, 2009. 275 с.

Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Вып. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 276 с.

Митрофанова Е.Ю., Воробьев Р.И. Состав и структура фитопланктона Телецкого озера (Республика Алтай) в период зимнего минимума // Проблемы ботаники Южной

Сибири и Монголии. 2018. № 17. С. 103–106.

Митрофанова Е. Ю. Фитопланктон Телецкого озера (Алтай, Россия): особенности развития и многолетней динамики // Экология. 2018. № 2. С. 146–151. doi: 10.7868/S0367059718020087

Митрофанова Е.Ю. Фитопланктон Телецкого озера: Дисс... кандидата биол. наук. Москва, 2000. 200 с.

Олигер Т.А. Гидрохимия вод террас Телецкого озера // Эволюция речных систем Алтайского края и вопросы практики. Барнаул: 1982. С. 46–48.

Отчет о НИР «Гидрохимическая характеристика Телецкого озера» / Науч. руков. Г.М. Шпейзер. Иркутск: ИГУ, 1989. 50 с.

Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. ГОСТ 17.1.3.07-82. Издание официальное. Государственный комитет СССР по стандартам от 19.03.1982. 1982. 10 с.

Природа многолетних колебаний речного стока / Ред. И.П. Дружинин. Новосибирск: Наука, 1967. 153 с.

Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Зиновьев А.Т. [и др.] Комплексные экологические исследования Телецкого озера в 2018 г // Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2019. № 1. С. 68–75.

Пушистов П.Ю., Викторов Е.В. Прикладной системный анализ циркуляций и термического режима Телецкого озера. Барнаул: ООО «Пять плюс», 2016. 152 с.

Рачкин Д.А. Водный баланс Телецкого озера: Выпускная квал. работа / Рук. Барышников Н.Б. Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2018. 77 с.

Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1116-02. (с изменениями от 25 февраля 2010 г., 28 июня 2010 г.). Москва. 2002. 17 с.

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

Селегей В.В. Телецкое озеро. Очерки истории. В трех книгах. Книга первая. Новосибирск: Офсет, 2009. 119 с.

Суторихин И.А., Фроленков И.М. Оценка трофического статуса Телецкого озера по данным гидрооптических измерений в видимом диапазоне // Известия Алтайского государственного университета. 2017. № 4(96). С. 67–71. doi: 10.14258/izvasu(2017)4-11

Третьякова Е.И. Пространственное распределение биогенных элементов в водах Телецкого озера // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Труды Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 25-летию юбилею Института водных и экологических проблем СО РАН (20–24 августа 2012 г., Барнаул). Барнаул, 2012. Том 2. С. 190–194.

Тушкова Г.И., Папина Т.С., Романова Н.В., Кириллова Т.В. Анализ качества воды Телецкого озера и водотоков бассейна р. Катунь методами биотестирования // Состояние, освоение и проблемы экологии ландшафтов Алтая. Матер, науч.-практ. конф. Ч. 1. Горно-

Алтайск: 1992. С. 99–100.

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

Akulova O.B., Bukatyi V.I. Evaluation of suspended matter effect on spectral light attenuation in Lake Teletskoye (Translated by E. S. Kochetkova) // *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2020. Vol. 13, no. 1. P. 35–44. doi: 10.7868/S2073667320010049

Koshelev K., Zinoviev A., De Goede E., De Graaff R. Modelling of Thermal Stratification and Ice Dynamics with Application to Lake Teletskoye, Altai Republic, Russia // *Water Resources*. 2021. Vol. 48, no. 3. P. 368–377. doi: 10.1134/S0097807821030088

Mitrofanova E. Yu. Integral assessment of stability for deep oligotrophic reservoir ecosystem (Lake Teletskoye, Altai as a case study) // *Lakes of Eurasia: Problems and Solutions: Proceeding II international conf. (19–24 may 2019 г., Kazan). Part 1*. Kazan: Academy of sciences of the Republic of Tatarstan, 2019. P. 121–125.

Zinoviev A.T. Simulation of ice-thermal regime of Lake Teletskoye // *International Symposium «Hydrological and ecological processes in the reservoirs and their watersheds»: Proceedings*. Novosibirsk: IWEP, SB RAS Publ., 1994.

References

Akulova O.B., Bukatyj V.I., Marusin K.V. Prostranstvennaja izmenchivost' gidroopticheskikh harakteristik Teleckogo ozera [Spatial variability of hydro-optical characteristics of Lake Teletskoye] // *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*. 2019. № 3. P. 16–27. doi: 10.17076/lim947. (in Russian).

Afanas'ev E.S. Stratificirovannye techenija, ih vzaimodejstvie i perenos primesej v vodohranilishhah i ozerah [Stratified currents, their interaction and transport of impurities in reservoirs and lakes]. Summary of PhD (Cand. of Physic. and Mathem.) thesis. Moskva, 2006. 130 p. (in Russian).

Bocharov O.B., Vasil'ev O.F., Kvon V.I., Ovchinnikova T.Je. Chislennoe issledovanie gidrotermicheskikh processov i processov perenosa v glubokih vodoemah [Numerical study of hydrothermal processes and transport processes in deep reservoirs] // *Sibirskij jekologicheskij zhurnal [Siberian Ecological Journal]*. 2003. Vol. 10, no 2. P. 221–230. (in Russian).

Burmistrova O.S. Zooplankton raznotipnyh vodnyh jekosistem bassejna Verhnej Obi [Zooplankton of diverse aquatic ecosystems of the Upper Ob basin]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Novosibirsk, 2009. 235 p. (in Russian).

Vasil'ev O.F., Kirillov V.V., Klerks Ja., Selegej V.V. Kompleksnye issledovaniya jekosistemy Teleckogo ozera [Comprehensive studies of the ecosystem of Lake Teletskoye] // *Gidrologicheskie i jekologicheskie processy v vodoemah i ih vodosbornyh bassejnah: Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma (26–28 sent. 1995 g.). [Hydrological and ecological processes in reservoirs and their catchment basins: Proceedings of the International Symposium (Sept.*

26–28, 1995)]. Novosibirsk: Lavrentiev Institute of Hydrodynamics SB RAS, 1996. P. 120–122. (in Russian).

Voda pit'evaja. Gigienicheskie trebovanija i kontrol' za kachestvom [Drinking water. Hygienic requirements and quality control]. GOST 2874-82. Izdanie oficial'noe. Moskva: IPK izdanie standartov. 1997. 10 p.

Danchev V.N. Razrabotka i primenenie informacionno-vychislitel'nogo kompleksa dlja modelirovanija cirkuljacij i termicheskogo rezhima Teleckogo ozera [Development and application of an information and computing complex for simulation of circulation and thermal regime of Lake Teletskoye]: Summary of PhD (Cand. of Technic.) thesis. Novosibirsk, 2013. 160 p. (in Russian).

Dolmatova L.A. Osobennosti gidrohimicheskogo rezhima Teleckogo ozera v period osennego ohlazhdenija [Features of the hydrochemical regime of Lake Teletskoye during the autumn cooling] // Mir nauki, kul'tury, obrazovanija [The world of science, culture, education]. 2011. No 6–2(31). P. 417–423. (in Russian).

Duchkov A.D., Klerke Zh., Kazancev S.A. Teplovoj potok Teleckogo ozera [Heat flow of Lake Teletskoye] // Geologija i geofizika [Geology and Geophysics]. 1995. Vol. 36, no 10. P. 143–153 (in Russian).

Zinov'ev A.T., Kirillov V.V., Marusin K.V. Kislorodnyj rezhim Teleckogo ozera: modelirovanie i naturnye dannye [Oxygen regime of Lake Teletskoye: modeling and field data] // Fundamental'nye problemy izuchenija i ispol'zovanija vody i vodnyh resursov: Materialy nauchnoj konferencii (20–24 Sept. 2005 g.) [Fundamental problems of Studying and Using water and Water Resources: Materials of a scientific conference (Sept. 20–24, 2005)]. Irkutsk: V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2005. P. 416–418. (in Russian).

Zinov'ev A.T. Modelirovanie temperaturnoj stratifikacii Teleckogo ozera [Modeling of temperature stratification of Lake Teletskoye] // Osnovnye zakonomernosti global'nyh i regional'nyh izmenenij klimata i prirodnoj sredy v pozdnem kajnozoe Sibiri [The main patterns of global and regional climate and environmental changes in the Late Cenozoic of Siberia: collection of articles]. Novosibirsk: Institute of Archeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002. P. 212–216. (in Russian).

Zinov'ev A.T., Koshelev K.B., Marusin K.V. Temperaturnyj rezhim Teleckogo ozera: modelirovanie i jeksperiment [Temperature regime of Lake Teletskoye: modeling and experiment] // Mir nauki, kul'tury, obrazovanija [The world of science, culture, education]. 2010. No. 6–2(25). P. 285–289. (in Russian).

Zinov'ev A.T., Koshelev K.B., D'jachenko A.V., Marusin K.V. Chislennoe modelirovanie i naturnye issledovanija termobara v Teleckom ozere [Numerical modeling and field studies of a thermal tank in Lake Teletskoye] // Meteorologija i gidrologija [Meteorology and hydrology]. 2021. No. 5. P. 86–94. doi:10.52002/0130-2906-2021-5-86-94. (in Russian).

Zinov'ev A.T., Mitrofanova E.Ju., Tret'jakova E.I. [et al.] Kompleksnye issledovanija

Teleckogo ozera: termicheskij rezhim, gidrohimicheskie i gidrobiologicheskie karakteristiki [Comprehensive studies of Lake Teletskoye: thermal regime, hydrochemical and hydrobiological characteristics] // *Vodnye i jekologicheskie problemy Sibiri i Central'noj Azii: trudy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 25-letnemu jubileju Instituta vodnyh i jekologicheskikh problem SO RAN (20–24 avgusta, 2012 g.)* [Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation dedicated to the 25th anniversary of the Institute of Water and Environmental Problems SB RAS (August 20–24, 2012). Barnaul, 2012. P. 43–47. (in Russian).

Zujkova E.I. *Sovremennoe sostojanie zooplanktonnogo soobshhestva Teleckogo ozera* [The current state of the zooplankton community of Lake Teletskoye]: PhD (Cand. of Biol.). Krasnojarsk, 1998. 124 p. (in Russian).

Zujkova E.I., Sheveleva N.G., Evstigneeva T.D. *Sezonnaja i mezhgodovaja dinamika zooplanktona Teleckogo ozera* [Seasonal and interannual dynamics of zooplankton of Lake Teletskoye] // *Biologija vnutrennih vod* [Biology of inland waters]. 2009. No. 3. P. 47–60. (in Russian).

Kvon D.V. *Matematicheskoe modelirovanie gidrotermicheskikh processov v Teleckom ozere* [Mathematical modeling of hydrothermal processes in Lake Teletskoye]. PhD (Cand. of Physics and mathemat.). Barnaul, 1998. 136 p. (in Russian).

Kvon D.V., Kvon V.I., Filatova T.N. *Chislennoe modelirovanie gidrotermicheskikh processov v predust'evoj oblasti Teleckogo ozera* [Numerical modeling of hydrothermal processes in the pre-estuary region of Lake Teletskoye] // *Vychislitel'nye tehnologii* [Computing technologies]. 2000a. Vol. 5, no. 5. P. 68–77 (in Russian).

Kvon D.V., Kvon V.I., Semchukov A.N. *Chislennyj raschet prodol'no-vertikal'noj termicheskij struktury Teleckogo ozera v godovom cikle* [Numerical calculation of the longitudinal-vertical thermal structure of Lake Teletskoye in the annual cycle] // *Vychislitel'nye tehnologii* [Computing technologies]. 2000b. Vol. 5, no. 3. P. 29–45 (in Russian).

Kirillova T.V. *Pigmentnye karakteristiki fitoplanktona Teleckogo ozera* [Pigment characteristics of phytoplankton of Lake Teletskoye]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Krasnojarsk, 2006. 220 p. (in Russian).

Kirillova T.V. *Vertikal'noe raspredelenie i mezhgodovaja dinamika pigmentnyh karakteristik fitoplanktona Teleckogo ozera* [Vertical distribution and interannual dynamics of pigment characteristics of phytoplankton of Lake Teletskoye] // *Mir nauki, kul'tury, obrazovanija* [The world of science, culture, education]. 2008. № 1(8). P. 4–8. (in Russian).

Koveshnikov M.I. *Prostranstvennoe raspredelenie, sezonnaja dinamika zoobentosa i ocenka jekologicheskogo sostojanija vodnyh obektov bassejna reki Bija* [Spatial distribution, seasonal dynamics of zoobenthos and assessment of the ecological status of water bodies in the Biya River basin]: PhD (Cand. of Biol.). Barnaul, 2009. 275 p. (in Russian).

Metody bioindikacii i biotestirovanija prirodnyh vod. [Methods of bioindication and biotesting of natural waters]. Vol. 2. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 276 p. (in Russian).

Mitrofanova E.Ju., Vorob'ev R.I. Sostav i struktura fitoplanktona Teleckogo ozera (Respublika Altaj) v period zimnego minimuma [Composition and structure of phytoplankton of Lake Teletskoye (Altai Republic) during the winter minimum] // Problemy botaniki Juzhnoj Sibiri i Mongolii [Ecology problems of botany in Southern Siberia and Mongolia]. 2018. No. 17. P. 103–106 (in Russian).

Mitrofanova E.Ju. Fitoplankton Teleckogo ozera (Altaj, Rossiya): osobennosti razvitiya i mnogoletnej dinamiki [Phytoplankton of Lake Teletskoye (Altai, Russia): features of development and long-term dynamics] // Jekologija [Ecology]. 2018. No. 2. P. 146–151. doi:10.7868/S0367059718020087. (in Russian).

Mitrofanova E.Ju. Fitoplankton Teleckogo ozera [Phytoplankton of Lake Teletskoye]: PhD (Cand. of Biol.). Moscow, 2000. 200 p. (in Russian).

Oliger T.A. Gidrohimija vod terras Teleckogo ozera [Hydrochemistry of the waters of the terraces of Lake Teletskoye] // Jevoľucija rechnyh sistem Altajskogo kraja i voprosy praktiki [Evolution of river systems of the Altai Territory and practical issues]. Barnaul: 1982. P. 46–48. (in Russian).

Otchet o NIR “Gidrohimicheskaja harakteristika Teleckogo ozera” [Hydrochemical characteristics of Lake Teletskoye] / Nauch. rukov. G.M. Shpejzer. Irkutsk: IGU, 1989. 50 p. (in Russian).

Ohrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolja kachestva vody vodoemov i vodotokov [Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of water in reservoirs and stream flows]. GOST 17.1.3.07-82. Izdanie oficial'noe. Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam ot 19.03.1982. 1982. 10 p. (in Russian).

Priroda mnogoletnih kolebanij rechnogo stoka [The nature of long-term fluctuations in river flow] / Ed. I.P. Druzhinina. Novosibirsk: Nauka, 1967. 153 p. (in Russian).

Puzanov A.V., Bezmaternyh D.M., Zinov'ev A.T. [et al.] Kompleksnye jekologicheskie issledovanija Teleckogo ozera v 2018 g [Comprehensive ecological studies of Lake Teletskoye in 2018] // Polevye issledovanija v Altajskom biosfernom zapovednike [Field research in the Altai Biosphere Reserve]. 2019. No. 1. P. 68–75. (in Russian).

Pushistov P.Ju., Viktorov E.V. Prikladnoj sistemnyj analiz cirkuljacij i termicheskogo rezhima Teleckogo ozera [Applied system analysis of circulation and thermal regime of Lake Teletskoye]. Barnaul: OOO «Pjat' plus», 2016. 152 p. (in Russian).

Rachkin D.A. Vodnyj balans Teleckogo ozera [Water balance of Lake Teletskoye]: Graduate qualification paper / Sc. sup. Baryshnikov N.B. Sankt Peterburg: Rossijskij gosudarstvennyj gidrometeorologičeskij universitet. 2018. 77 p. (in Russian).

Sanitarno-jepidemiologičeskije pravila i normativy [Sanitary and epidemiological rules and regulations]. SanPiN 2.1.4.1116-02. (s izmenenijami ot 25 fevralja 2010 g., 28 ijunja 2010 g.). Moskva. 2002. 17 p.

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

Selegej V.V. Teleckoe ozero. Ocherki istorii [Teletskoye Lake. Essays of history]. Vol. 1. Novosibirsk: Ofset, 2009. 119 p. (in Russian).

Sutorihin I.A., Frolenkov I.M. Ocenka troficheskogo statusa Teleckogo ozera po dannym gidroopticheskikh izmerenij v vidimom diapazone [Assessment of the trophic status of Lake Teletskoye according to hydro-optical measurements in the visible range] // *Izvestija Altajskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Altai State University]. 2017. No. 4(96). P. 67–71. doi: 10.14258/izvasu(2017)4-11. (in Russian).

Tret'jakova E.I. Prostranstvennoe raspredelenie biogennyh jelementov v vodah Teleckogo ozera [Spatial distribution of biogenic elements in the waters of Lake Teletskoye]. *Vodnye i jekologicheskie problemy Sibiri i Central'noj Azii: trudy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 25-letnemu jubileju Instituta vodnyh i jekologicheskikh problem SO RAN (20–24 avgusta, 2012 g.)* [Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation dedicated to the 25th anniversary of the Institute of Water and Environmental Problems SB RAS (August 20–24, 2012). Barnaul, 2012. P. 190–194. (in Russian).

Tushkova G.I., Papina T.S., Romanova N.V., Kirillova T.V. Analiz kachestva vody Teleckogo ozera i vodotokov bassejna r. Katun' metodami biotestirovanija [Analysis of the water quality of Lake Teletskoye and the watercourses of the Katun River basin by biotesting methods] // *Sostojanie, osvoenie i problemy jekologii landshaftov Altaja. Mater, nauch.-prakt. konf. Ch. 1.* [The state, development and problems of ecology of Altai landscapes. Mater, scientific and practical conf. Part 1]. Gorno-Altajsk. 1992. P. 99–100. (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 Geological and mineralogi.). Tomsk, 2010. 149 p. (in Russian).

Akulova O.B., Bukatyi V.I. Evaluation of suspended matter effect on spectral light attenuation in Lake Teletskoye (Translated by E. S. Kochetkova) // *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2020. Vol. 13, no. 1. P. 35–44. doi: 10.7868/S2073667320010049

Koshelev K., Zinoviev A., De Goede E., De Graaff R. Modelling of Thermal Stratification and Ice Dynamics with Application to Lake Teletskoye, Altai Republic, Russia // *Water Resources*. 2021. Vol. 48, no. 3. P. 368–377. doi: 10.1134/S0097807821030088

Mitrofanova E.Yu. Integral assessment of stability for deep oligotrophic reservoir ecosystem (Lake Teletskoye, Altai as a case study) // *Lakes of Eurasia: Problems and Solutions: Proceeding II international conf. (19–24 may 2019 r., Kazan).* Part 1. Kazan: Academy of sciences of the Republic of Tatarstan, 2019. P. 121–125.

Zinoviev A.T. Simulation of ice-thermal regime of Lake Teletskoye // *International Symposium «Hydrological and ecological processes in the reservoirs and their watersheds»: Proceedings*. Novosibirsk: IWEP, SB RAS Publ., 1994.

ON THE CONDITIONS OF BIOGENIC CYCLES IN LAKE TELETSKOYE: DATA ANALYSIS FOR MODELING

A.A. Tskhai^{1,2}, M. A. Romanov³

¹ *Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, E-mail: tskhai@iwep.ru*

² *Polzunov Altai State Technical University, Barnaul*

³ *Altai State University, Barnaul*

The object of the study is Lake Teletskoye. The purpose of the work is to analyze of the existing source information for modeling the cycles of biogeochemical transformation for nitrogen and phosphorus compounds in the object of study. The survey study carried out in this paper can serve as a factual basis for modeling of the state for the aquatic ecosystem of Lake Teletskoye.

Keywords: Teletskoye Lake; mathematical model; limnology; meteorology; hydrology; hydrochemistry; hydrobiology; transformation; biogeochemical cycle.

Received October 24, 2023. Accepted: November 20, 2023

Сведения об авторах

Цхай Александр Андреевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-3892-1502; 0000-0003-3664-7722. E-mail: tskhai@iwep.ru.

Романов Максим Анатольевич – преподаватель колледжа ФГБОУ ВО Алтайского государственного университета. Россия, 656049, г. Барнаул, пр. Ленина, 61. 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 St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-3892-1502; 0000-0003-3664-7722. E-mail: tskhai@iwep.ru

Romanov Maxim Anatol'evich – Lecturer of the College of the Altai State University. 61, Lenin Av., 656049 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-5010-6469. E-mail: max.rom1@mail.ru.

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

При изучении почвенных растворов исследователь может столкнуться с определенными трудностями, в том числе из-за неоднозначности толкования в научной литературе самого термина. Вопрос о том, какие формы влаги в почве можно считать почвенным раствором и, соответственно, какой способ нужно выбрать для их извлечения из почв, весьма важен для понимания полученных в итоге данных и их интерпретации [Попов, 2020]. Ранее понятием «почвенный раствор» объединяли все формы влаги в почве, всю ее «жидкую часть» [Орлов, 1985], «жидкую фазу» [Возбуцкая, 1968]. В то же время, согласно классификации А.А. Роде [1965], существует несколько категорий почвенной влаги: свободная (капиллярная и гравитационная), физически прочносвязанная и рыхлосвязанная; химически связанная; твёрдая; парообразная. В последнее время принято считать, что собственно к жидкой фазе почвы относятся только три формы влаги: плёночная, капиллярная и гравитационная [Попов, 2020].

Считается, что гравитационная влага, перемещаясь в почвенном профиле под действием силы тяжести, меньше других форм влаги подвержена влиянию твёрдых частиц почвы и в большей степени отвечает за распределение веществ в почвенном профиле и миграцию за его пределы. В большинстве случаев химический состав лизиметрических вод сильно зависит от выпавших осадков [Снакин и др., 1997] и, как правило, эта форма влаги менее концентрирована, чем капиллярная.

Плёночная вода, содержащаяся в

почвенных порах малого диаметра, малоподвижна и недоступна растениям, но может защищать почву от воздействия внешних факторов, нейтрализуя и связывая попадающие в почву растворенные загрязняющие вещества [Полубесова, Понизовский, 1987; Снакин и др., 1997].

Капиллярная, поровая или свободная вода является основной частью жидкой фазы почв [Снакин и др., 1997; Тимофеева, 2010]. Она в наибольшей степени доступна растениям, в ней протекает большинство процессов растворения и преобразования химических веществ, она более стабильна, чем гравитационная вода, и наиболее информативна для изучения специфических свойств почвенного профиля [Попов, 2020]. Чаще всего исследователи именно с этой формой влаги связывают понятие почвенного раствора [Раудина, 2015]. В литературе также можно встретить использование термина «поровые воды» (pore water), как синонима термина «почвенные растворы», однако влага, заполняющая поры разного размера, отличается по составу и концентрации [Зайцева и др., 1997, Платонова, 1986].

Для изучения и отделения почвенной влаги от твердой фазы почв в настоящее время применяют различные группы методов.

К первой группе относятся методы, основанные на приготовлении водных вытяжек и почвенных паст путем добавления к воздушно-сухой навеске почвы определенного количества воды. Многие авторы считают, что полученные таким способом данные лишь позволяют оценить общее содержание в почве

легкорастворимых солей, но не дают представления об истинном составе почвенного раствора [Сеньков, 1991; Breslere et al., 1982; Малинина и др., 2007]. Однако, другие исследователи считают, что состав водных вытяжек почв допустимо (условно) принимать за состав почвенных растворов [Жилин и др., 2022], тем более, что содержания некоторых элементов в водных вытяжках и лизиметрических водах могут достоверно не отличаться [Малинина и др., 2007].

Ко второй группе относятся методы, при которых почвенный раствор извлекается из почв применением к нему внешней силы – давления инертного газа, центрифугирования, вытеснения с помощью воды или спирта [Тимофеева, 2010]. Считается, что химический состав почвенного раствора остается при этом практически неизменным и в наибольшей степени соответствуют понятию почвенного раствора [Шоба, Сеньков, 2011]. Растворы, полученные таким способом, дают представление о составе и капиллярной, и гравитационной влаги в почвах [Малинина и др., 2007; Попов, 2020].

К третьей группе методов относят лизиметрические методы, позволяющие исследовать водный режим почв с помощью специального устройства (например, лизиметра Шиловой) или стационарного сооружения для учета и сбора влаги (почвенного раствора), профильтровавшейся через почву, в условиях, близких к естественным. Исследование таких растворов представляет интерес при изучении миграции

веществ по почвенному профилю.

Существуют также различные способы измерения жидкой фазы почв *in situ* с помощью ионометрии, кондуктометрии.

Все существующие способы получения почвенных растворов имеют свои достоинства и недостатки в плане технической сложности и достоверности полученных данных, возможности их интерпретации. Из всего многообразия методик, выбор метода получения почвенной влаги обусловлен определением нужной ее категории, в зависимости от задач исследования.

Необходимо также отметить, что в целом сведений о составе и свойствах почвенных вод (капиллярных, гравитационных и пр.), как и почвенных растворов, для территории Западной Сибири недостаточно, в отличие от довольно многочисленных сведений о химическом составе кислотных почвенных вытяжек, по химическому составу которых в некоторых случаях косвенно можно судить о составе почвенных растворов. Что касается почвенных гравитационных (лизиметрических) вод, то в России большинство лизиметрических станций [Смирнов, 2005] (по состоянию на 2004 год их существовало около тридцати) были расположены в европейской части страны. Работ по исследованию лизиметрических вод лесных и горно-лесных почв Сибири практически нет.

В научной литературе сейчас наблюдается явный дефицит работ, посвященных системному изучению состава природных вод, включая почвенные растворы, почвенно-грунтовые

и поверхностные воды, атмосферные осадки, хотя такие исследования позволяют оценить, например, барьерную функцию почв на пути миграции макро- и микроэлементов в системе сопряженных геохимических ландшафтов [Жилин и др., 2022].

Целью нашей работы является изучение содержания железа (Fe) в почвенных растворах верхних горизонтов горно-лесных почв бассейна озера Телецкое, а также исследование особенностей химического (макрокомпонентного) состава в системе почвы – почвенные растворы – поверхностные воды в условиях типичных горно-лесных ландшафтов бассейнов притоков озера Телецкое.

Материалы и методы

Летом 2022 года в бассейнах притоков озера Телецкое (Северо-Восточный Алтай) были отобраны образцы горно-лесных почв (верхние горизонты). Для получения почвенных растворов мы применяли метод центрифугирования, который позволяет быстро выделить почвенный раствор из почвенного образца даже при естественной его увлажненности. Данный метод выделения почвенных растворов в настоящее время довольно популярен, в том числе за рубежом [Gloaguene et al., 2009; Souza et al., 2013]. Методология центрифугирования почв для получения почвенного раствора подробно описана в работе А. Somavillae с соавторами [2017] – исследователи центрифугировали различные по гранулометрическому составу почвы при 1750 об/мин в течение 20 минут. Оригинальная методика

равновесного центрифугирования была предложена в свое время А.В. Смагиным с соавторами [1998].

Существует мнение, что концентрации некоторых химических элементов в экстрагируемых почвенных растворах зависят от исходной влажности почвенного образца [Prorok et al., 2017]. В нашей работе все образцы верхних горизонтов горно-лесных почв бассейна озера Телецкое предварительно увлажнялись до состояния 90% от полной влагоемкости данной почвы. Недостающее количество влаги определялось, исходя из начального содержания влаги и показателя полной влагоемкости, определяемого по общей порозности почвы. Затем образцы центрифугировались на приборе ОПн-3 на скорости 3000 об/мин в течение 20 минут. Полученные таким образом почвенные растворы отфильтровывались через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм и собирались в чистую новую полиэтиленовую посуду для последующего химического анализа. Всего было получено 12 почвенных растворов основных типов почв бассейна озера Телецкое. Остаточная влажность почвенных образцов после центрифугирования составляла не более 28%, т.е. меньше уровня влажности при наименьшей влагоемкости почв (30–35%), но выше уровня влажности завядания. Это позволяет полагать, что в центрифугированный раствор переходила в основном капиллярная и капиллярно-гравитационная влага, не затрагивая влагу пленочную.

Полную влагоёмкость почвы, как содержание влаги в почве при условии

полного заполнения всех пор водой, определяли по величине общей порозности почв (ϵ), ее, в свою очередь, вычисляли по соотношению плотности сложения (ρ_b) и плотности твердой фазы (ρ_s), по формуле $\epsilon = (1 - \rho_b / \rho_s) * 100\%$. Плотность сложения определяли в ненарушенном образце почвы методом режущего кольца, плотность твердой фазы – пикнометрически.

Гранулометрический состав почв определяли пипеточным методом по Качинскому [Агрохимические..., 1975]. Приведенные методом линейной графической интерполяции к зарубежной классификации данные гранулометрического состава [Шеин, 2005, Бабошкина и др, 2016; Baboshkina et al., 2020] использовались при работе в программе RETC 6.02 для получения параметров аппроксимации основной гидрофизической характеристики почв (ОГХ) функцией Ван-Генухтена, для построения кривых ОГХ.

Влажность почвенных образцов (изначальную и остаточную, после центрифугирования) определяли термостатно-весовым методом [Агрохимические..., 1975]. Значение наименьшей влагоемкости определяли по точке на кривой ОГХ, соответствующей давлению почвенной влаги при $pF=2.52$, построение ОГХ осуществляли расчетным методом с помощью педотрансферных функций программы RETC, с использованием базовых свойств почвы (гранулометрического состава, плотности).

Содержание железа в полученных почвенных растворах определялось фотометрическим методом по ПНД Ф

14.1:2:4.50-96. Методика считается быстрой, точной и доступной для количественного определения содержания общего железа в воде [Малько и др., 2018]. Используемые приборы и реактивы относительно недороги, безопасны и имеют длительный срок хранения. Метод основан на взаимодействии ионов Fe^{2+} с 2,2-дипиридилем с образованием окрашенного в красный цвет комплексного соединения, интенсивность окраски которого пропорциональна массовой концентрации железа. Солянокислым гидроксиламином проводилось восстановление трехвалентного железа до двухвалентного. Диапазон измерения массовой концентрации общего железа без разбавления пробы 0.05–2.00 мг/дм³, суммарная погрешность измерения с вероятностью $P=0.95$ находится в пределах 0.01–0.03 мг/дм³. Содержание железа в пробах находили по градуировочному графику, все точки которого укладывались на прямую линейной аппроксимации, величина достоверности $R^2 = 0.98$.

Уровень pH почвенных и поверхностных вод определяли потенциометрически. Определение ионного состава почвенных растворов проводили по стандартным методикам [Новиков и др., 1990]: хлор-ион – меркурометрическим методом, сульфат-ион – турбидиметрическим методом на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ, гидрокарбонаты титровали раствором серной кислоты. Жесткость воды и концентрацию кальция определяли комплексонометрическим методом (титровали трилоном Б), содержание магния

вычисляли по разнице. Определение рН вод проводили потенциометрическим методом на иономере рН-150МИ.

Определение валового содержания железа в почве проводили в Институте ядерной физики СО РАН методом РФА СИ (рентгено-флуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения). В работе использовалось оборудование ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ «Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000» (инженер-аналитик Колмогоров Ю.П.).

Полученные данные подвергались стандартной статистической обработке – рассчитывалось среднее арифметическое

и его ошибка, коэффициенты вариации и парной корреляции.

Результаты и обсуждение

По результатам нашего исследования, содержание растворенного железа в почвенных растворах из верхних горизонтов почв, определенное фотометрическим методом, изменяется в пределах от 390 мкг/л в горно-лесной бурой глеевой почве западного берега северной части озера в бассейне р. Колдор до 2645 мкг/л в горно-лесной бурой маломощной почве на восточном берегу меридиональной части озера в бассейне р. Корбу (табл.).

Таблица

Содержание железа в почвах, почвенных растворах горно-лесных почв и поверхностных водах притоков озера Телецкое

Table

Fe in soils, soil solutions of mountain forest soils and surface waters of tributaries of Lake Teletskoye

Река	Подтипы горно-лесных почв	Почва, %	Почвенный раствор, мкг/л	Поверхностная вода, мкг/л
Западные притоки (с севера на юг)				
Самыш	перегнойно-торфянистая	2.60	1090	90
Колдор	бурая глеевая	4.34	390	125
Чедор	бурая маломощная	3.76	2430	140
М.Чили	перегнойно-торфянистая	3.95	540	130
Б.Чили	бурая типичная	3.98	2080	125
Чулышман	аллювиальная	3.37	790	130
Восточные притоки (с севера на юг)				
Камга	перегнойно-торфянистая	2.44	1020	115
Корбу	бурая маломощная	3.75	2645	190
Кокши	примитивная перегнойная	3.59	1615	205
Челюш	бурая оподзоленная	2.03	2515	170
Чири	примитивная перегнойная	1.77	680	155
Северная часть озера, район пос. Яйлю				
Чеченек	перегнойно-торфянистая	3.64	1035	310

Для сравнения, в почвенных растворах, полученных из разных горизонтов подстилок торфянисто-подзолистых глееватых почв ЦЛГБЗ методом вакуум-фильтрации (без разделения на гравитационные и капиллярные воды) с помощью пористых керамических фильтров (авторы установили отсутствие влияния материала фильтров на состав фильтрата), содержание железа изменялось от 650 мкг/л в почвенном растворе F-подгоризонта подстилок до 4080 мкг/л в почвенном растворе E_{th}-подгоризонта подстилок [Малинина и др., 2007]. Средние значения концентраций железа в почвенных растворах для F-горизонта подстилки двух разрезов торфянисто-подзолистых почв ЦЛГБЗ составляли 2640 и 2667 мкг/л, для H-подгоризонта 2040 мкг/л и 1330 мкг/л [Малинина и др., 2007].

По данным ученых из МГУ, в водных вытяжках дерново-подзолистых почв бассейна р. Клязьма [Жилин и др., 2022] (авторы не упоминают фильтрацию через мембранный фильтр) среднее содержание

железа составляет 651 мкг/л в элювиальных ландшафтах и 328 мкг/л – в транзитных, тогда как в аллювиальных луговых почвах средние содержания составляли 1509 мкг/л (в центральной части поймы) и 1765 мкг/л (в понижении).

По результатам нашего исследования, содержание растворенного железа в почвенных растворах горно-лесных почв бассейна Телецкого озера отрицательно коррелирует с уровнем их pH, установлена тесная обратная корреляционная зависимость этих показателей, $r=-0.81$. Достоверно установлено – чем ниже pH центрифугированного почвенного раствора, тем выше содержание в нем растворимых форм железа, что объясняется большей подвижностью и лучшей растворимостью железа в кислой среде. В почвенных растворах с показателем pH от 6.1 до 6.5 содержание железа изменялось от 540 до 1090 мкг/л, тогда как в почвенных растворах с pH от 5.0 и ниже концентрации Fe варьировали от 2080 до 2645 мкг/л (рис.1).

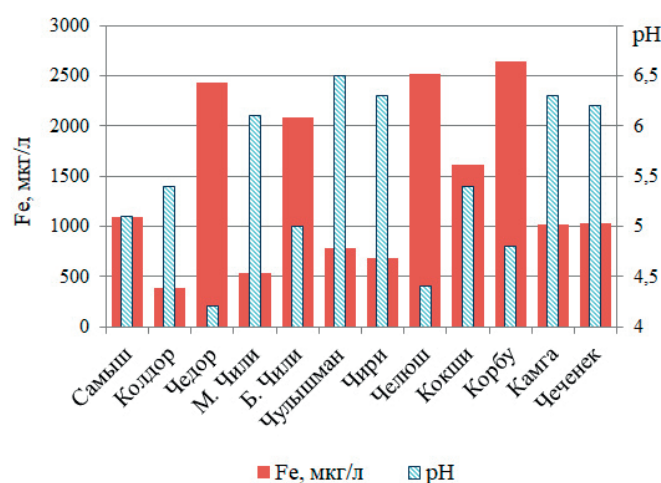


Рис. 1. Содержание растворенного железа в почвенных растворах горно-лесных почв бассейна озера Телецкое, в зависимости от уровня pH среды.

Fig. 1. Soluble Fe in soil solutions of mountain-forest soils in the basin of Lake Teletskoye, depending on the pH level of the medium.

В результате исследования не установлено наличия корреляционной зависимости содержания железа в почвенных растворах от общего (валового) содержания железа в почвах бассейна озера Телецкое (в верхних гумусовых горизонтах) (см. табл.). Очевидно, переход железа в растворенное состояние в большей степени определяется химическими свойствами самих почв и почвенных вод, уровнем pH, окислительно-восстановительными условиями, биогеохимической обстановкой на водосборе, чем его исходным валовым содержанием в почвах. Есть мнение, что присутствие растворимого Fe в почвенных растворах обусловлено не столько почвенными Fe-содержащими минералами, сколько хелатным железом, которое продуцируется различными живыми организмами — следовательно, биологическая активность почв, которая во многом зависит от pH почвенного раствора, является важным фактором, контролирующим содержание растворенных форм железа в почвенных растворах, что важно как для снабжения растений железом, так и для процесса его выщелачивания [Ammari, Mengel, 2006].

Согласно нашим предыдущим исследованиям, в водах восточных притоков озера Телецкое содержание Fe (в тот же период весенне-летнего половодья 2022 г.) достоверно выше (в среднем 155 ± 15 мкг/л), чем содержание Fe в водах рек западных притоков (в среднем 120 ± 10 мкг/л [Бабошкина и др., 2022]). В почвенных растворах горно-лесных почв бассейна Телецкого озера наибольшие концентрации железа также отмечены на

восточных берегах меридиональной части водоема, в почвах бассейнов рек Корбу (2645 мкг/л), Челюш (2515 мкг/л) и Кокши (1615 мкг/л) — концентрации железа в них выше, чем в почвенных растворах горно-лесных бурых и перегнойно-торфянистых почв бассейнов противоположных притоков. При этом в горно-лесных бурых почвах восточных берегов озера Телецкое в среднем содержится меньше железа ($2.58 \pm 0.36\%$), чем в почвах западных берегов озера ($3.71 \pm 0.29\%$) (см. табл.). Отметим также, что различия в содержании железа в почвенных водах наиболее выражены между почвами бассейнов «парных» рек меридиональной части озера. Так, довольно высоким содержанием железа в почвенных растворах отличаются почвы бассейнов «противоположных» рек Корбу и Чедор (2615 и 2430 мкг/л), при этом бурые почвы бассейнов этих рек практически идентичны по валовому содержанию в них железа — 3.75% (см. табл.). Сравнительно меньшие концентрации железа в почвенных растворах обнаружены в почвах бассейнов рек М. Чили и Кокши, расположенных южнее — 540 и 1615 мкг/л.

В почвах бассейнов восточных притоков установлены максимальные коэффициенты перехода железа в раствор (как отношение содержания Fe в почвах к его содержанию в почвенном растворе) — 0.012% от валового содержания в почве бассейна р. Челюш и 0.007% в почве бассейна р. Корбу. Высока интенсивность перехода железа в раствор и в почве бассейна р. Чедор — 0.0065% . Наименее интенсивно железо переходит в почвенный раствор в легкосуглинистой горно-лесной

бурой глеевой почве бас-сейна р. Колдор (0.0009%) и в горно-лесной торфянисто-перегнойной почве бассейна р. Малые Чили (0.0013%).

По уровню общей минерализации изученные нами почвенные растворы можно условно разделить на две группы. Так, в почвах берегов меридиональной части озера суммарное содержание водорастворимых солей в центрифугированных почвенных растворах сравнительно невысокое и изменяется от 161 до 655 мг/л. В почвенных растворах почв бассейнов притоков широтной части озера уровень общей минерализации (с учетом содержания нитратов и нитритов, концентрации которых здесь очень существенны) изменяется от 1173 мг/л (почва в бассейне р. Чеченек) до 2140 мг/л (почва в бассейне р. Самыш). Почвенные растворы почв северной части Телецкого озера более насыщены кальцием: содержание Са в них достигает 200–232 мг/л, а его участие в формировании катионного состава вод притоков озера

Телецкое наиболее значительно именно в крупных притоках северной части озера [Пузанов и др., 2020].

Содержание железа в почвенных растворах горно-лесных почв бассейна озера Телецкое находится в обратной зависимости от общего суммарного содержания в них растворимых солей, $r = -0.46$ (рис. 2).

Нами установлена положительная связь средней силы ($r = +0.48$) уровня общей минерализации поверхностных вод притоков озера Телецкое и общей минерализации почвенных растворов горно-лесных почв их бассейнов. Воды рек, дренирующих почвы с более насыщенными основными солями почвенными растворами, сами отличаются более высокими концентрациями растворимых солей. Т.о., макроионный состав почвенных растворов находит свое отражение в химическом составе поверхностных вод и является одним из биогеохимических показателей водосборной площади, который связывает химический состав поверхностных и почвенных вод.

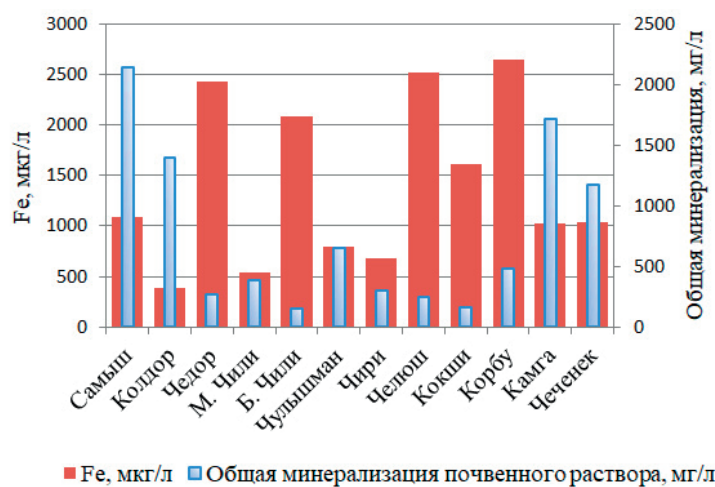


Рис. 2. Содержание растворенного железа в различных по уровню общего содержания растворимых солей почвенных растворах

Fig. 2. Soluble iron in soil solutions with various TDS

Содержание железа в почвенном растворе определяется и количеством илистой фракции в почве ($r=0.51$): чем тяжелее гранулометрический состав почв, тем больше в почве мелких пор, которые содержат более концентрированные и более насыщенные микроэлементами почвенные воды [Зайцева и др., 1996, Тимофеева, 2010].

По результатам нашего исследования, общая порозность изученных нами песчаных, супесчаных и легкосуглинистых горно-лесных почв бассейна оз. Телецкое изменяется от 33 до 49%. Этот показатель зависит не только от гранулометрического состава, но и от содержания в почве гумуса, минеральных веществ, определяется степенью оструктуренности почвы, видовым составом растительности. Нами установлена сильная обратная корреляционная связь ($r=-0.76$) уровня общей минерализации почвенных растворов и общей порозности горно-лесных почв бассейна озера Телецкое (рис. 3) – чем более рыхлая и пористая

почва, тем менее минерализован ее почвенный раствор. Учитывая, что основной вклад в величину общей порозности почвы вносят крупные поры, полученный нами вывод согласуется с выводами других авторов – в целом, влага более крупных пор имеет меньшую минерализацию, чем влага мелких пор [Платонова, Шмыглая, 1986, Зайцева и др., 1997].

Заключение

Концентрации Fe в отфильтрованных через мембранный фильтр центрифугированных почвенных растворах, соответствующих, в основном, капиллярной почвенной влаге горно-лесных почв бассейна Телецкого озера, изменяются в пределах 390–2645 мкг/л, и не превышают показатели, приводимые другими исследователями. В горно-лесных бурых и перегнойно-торфянистых почвах берегов широтной части озера почвенные растворы содержат заметно меньшие концентрации Fe (390–1090 мкг/л), чем почвенные растворы почв бассейна меридиональной части озера (540–2645 мкг/л).

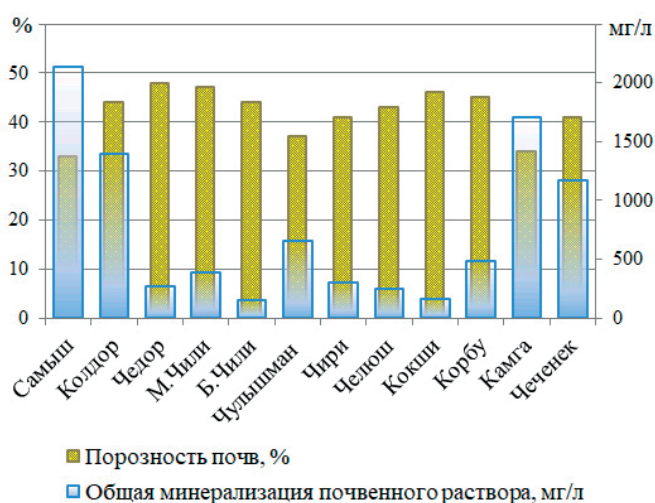


Рис. 3. Общая минерализация почвенного раствора в различных по порозности почвах бассейна Телецкого озера

Fig. 3. TDS of soil solution of different porosity soils of the Lake Teletskoye basin

Наибольшие концентрации железа (и высокая интенсивность его перехода в почвенный раствор) отмечены в почвенных растворах почв бассейнов противоположных друг другу рек меридиональной части – Чедор и Корбу, которые в устьевой части представлены водопадами с соответствующей туристической инфраструктурой. Выявлено, что содержание Fe в почвенных растворах почв бассейна озера Телецкое обратно зависит от уровня их pH ($r=-0.81$), что объясняется большей подвижностью и лучшей растворимостью Fe в кислой среде. Содержание Fe в почвенных растворах также определяется гранулометрическим составом почв – чем он тяжелее, тем больше в почве мелких пор, которые содержат более концентрированные почвенные воды. Установлено, что содержание Fe в почвенных растворах обратно зависит от суммарного содержания в них водорастворимых солей. В свою очередь, установлена достоверная отрицательная

корреляционная связь ($r=-0.76$) между уровнем общей минерализации почвенных растворов и общей порозностью горно-лесных почв бассейна озера Телецкое – чем более рыхлая и пористая почва, тем менее минерализован ее почвенный раствор. Прямой корреляционной связи содержания Fe в почвенных растворах почв бассейнов притоков озера Телецкое с его содержанием в поверхностных водах, а также с валовым содержанием Fe в почвах установлено не было – возможно, потому, что капиллярные воды в большей степени отражают специфические свойства самого почвенного профиля, доступность питательных веществ растениям, чем влияют на микроэлементный состав поверхностных вод и гидрохимический сток. В то же время, реки, дренирующие почвы с более высоким общим содержанием основных растворимых солей в почвенных растворах, сами отличаются более высокой минерализацией вод.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН по проекту FUFZ-2021-0003, с использованием научного оборудования ЦКП научно-исследовательскими судами ИВЭП СО РАН.

Список литературы

- Агрохимические методы исследования почв. М.: Изд-во Наука, 1975. 655 с.
- Бабошкина С.В., Пузанов А.В., Ельчининова О.А., Рождественская Т.А. Водно-физические свойства и моделирование процесса движения влаги в черноземах южных Канской межгорной котловины (бассейн р. Чарыш, Северо-Западный Алтай) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (137). С. 47–54.
- Бабошкина С.В., Рождественская Т.А., Пузанов А.В., Пеленева М.П., Трошкова И.А., Балыкин С.Н., Балыкин Д.Н., Салтыков А.В. Исследование содержания железа в водах малых рек Северо-Восточного Алтая фотометрическим методом с сульфосалициловой

кислотой // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2022. № 3 (66). С. 19–32.

Возбуждая А.Е. Химия почв. М.: Высшая школа, 1968. 428 с.

Жилин Н.И., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И., Ладонин Д.В., Карпухин М.М., Земсков Ф.И., Телеснина В.М., Вартанов А.Н., Госс Д.Д., Демин В.В. Изменение состава природных вод в системе «атмосферные осадки – почвенные растворы – почвенно-грунтовые воды – поверхностные воды» на примере ландшафтов р. Клязьмы // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2022. № 1. С. 3–13.

Зайцева Р.И., Минашина Н.Г., Судницын И.И. Изменение состава и концентрации растворов сульфата натрия в почвенных порах // Почвоведение. 1996. №7. С. 833–838.

Зайцева Р.И., Минашина Н.Г., Судницын И.И. Концентрация растворов хлористого натрия в порах различного размера // Почвоведение. 1997. № 3. С. 330–335.

Малинина М.С., Караванова Е.И., Беянина Л.А., Иванилова С.В. Сравнение состава водных вытяжек и почвенных растворов торфянисто-подзолистых глееватых почв Центрального лесного государственного биосферного заповедника // Почвоведение. 2007. № 4. С. 428–437.

Малько С.В., Нечаевская А.А., Нечаевская А.А. Применение методов оперативного контроля содержания ионов железа в воде озера Чурбашского // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование: Материалы Международной научно-практической конференции (19–23 сентября 2018 г., Керчь). Симферополь: ИТ «АРЕАЛ», 2018. С. 330–336.

Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов / Ред. А.П. Шицковой. М.: Медицина, 1990. 397 с.

Орлов Д.С. Химия почв. М.: МГУ, 1985. 376 с.

Платонова Т.К., Шмыглая Л.Н. Дифференциальная пористость и фракционный состав поровых растворов темно-каштановых почв низкой Сыртовой равнины // Почвоведение. 1986. № 6. С. 98–102.

ПНД Ф 14.1:2:4.50-96. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. М., 2011. 20 с.

Полубесова Т.А., Понизовский А.А. Режим и режимобразующие факторы содержания не растворяющей влаги в серой лесной почве сельскохозяйственного использования // Комплексное изучение продуктивности агроценозов. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1987. С. 77–85.

Попов В.В. Почвенный раствор и методы его изучения // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3, № 1. С.4

Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А., Балыкин С.Н., Балыкин Д.Н., Салтыков А.В., Трошкова И.А., Двуреченская С.Я. Влияние биогеохимической обстановки водосборного бассейна озера Телецкое (Северо-Восточный Алтай) на содержание

главных ионов и Fe в водах его притоков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 2. С. 111–122.

Раудина Т.В. Почвенный раствор: от классических представлений к современным понятиям // Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: Материалы V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ (7–11 сентября 2015 г., г. Томск, Россия). Томск: Издательский Дом ТГУ, 2015. С. 87–93.

Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Том 1: Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. 664 с.

Сеньков А.А. Ионно-солевой состав почвенных растворов и водных вытяжек // Почвообразование и антропогенез: структурно-функциональные аспекты. Новосибирск: Наука, 1991. С. 156–167.

Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Али М.М.Б. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. 1998. № 11. С. 1362–1370.

Смирнов А.П. Всероссийская научная конференция «Лизиметрические исследования в агрохимии, почвоведении и мелиорации» // Агрохимия. 2005. № 5. С. 90–92.

Снакин В.В., Присяжная А.А., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почвы. М.: РЭФИА, 1997. 146 с.

Тимофеева Е.А. Неоднородность химического состава жидкой фазы основных типов почв ЦЛГПБЗ: Центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника: диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук. Москва, 2010. 184 с.

Шеин Е.В. Курс физики почв. Издательство МГУ, 2005. 432 с.

Шоба В.Н., Сеньков А.А. Равновесный состав и свойства растворов почв // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1168–1177.

Ammari T., Mengel K. Total soluble Fe in soil solutions of chemically different soils // Geoderma. 2006. Vol. 136, no. 3–4. P. 876–885.

Baboshkina S.V., Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A., Elchinina O.A., Troshkova I.A., Balykin D.N. Modeling of vertical moisture transfer in agricultural soils under two land use types // Soil and Environment. 2020. Vol. 39, no. 2. P. 211–222.

Bresler E., McNeal B.L., Carter D.L. Saline and Sodic Soils: Principles-Dynamics-Modeling. Springer Berlin Heidelberg, 1982. 236 p.

Gloaguen, T.V., Pereira F.A.C., Gonçalves R.A.B., Paz V.S. Sistema de extração seqüencial da solução na macro e microporosidade do solo // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2009. Vol. 13, no. 5. P. 544–550 (in Portuguese).

Prorok V.V., Dacenko O.I., Bulavin L.A. Dependence of the concentrations of ^{137}Cs and potassium in extracted soil solutions on soil humidity before centrifugation // Nuclear Physics and Atomic Energy, 2017. Vol. 18, no. 1. P. 87–92.

Somavilla A., Dessbesell A., Santos D. Centrifugation methodology to extract soil solution // *Scientia Agraria*, 2017. Vol. 18, no. 3. P. 44–47.

Souza E.R., Melo H.F., Almeida B.G., Melo D.V.M. Comparação de métodos de extração da solução do solo // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2013. Vol. 17. no.5. P. 510–517. (in Portuguese).

References

Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv. [The agro-climatic method of soil investigation]. M.: Izd-vo «Nauka», 1975. 655 p. (in Russian).

Baboshkina S.V., Puzanov A.V., Elchinina O.A., Rozhdestvenskaya T.A., Vodno-fizicheskie svoystva i modelirovaniye processa dvizheniya vlagi v chernozemakh yuzhnykh Kanskoy mezhgornoj kotloviny (bassejn r. Charysh, Severo-Zapadnyj Altaj) [Water-physical properties and modeling of moisture transfer in the southern chernozems of the Kansk intermontane depression (the Charysh basin, North-West Altai)] // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University]. 2016. No. 3 (137). P. 47–54. (in Russian).

Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A., Puzanov A.V., Peleneva M.P., Troshkova I.A., Balykin S.N., Balykin D.N., Saltykov A.V. Issledovanie sodержaniya zheleza v vodah malyykh rek Severo-Vostochnogo Altaya fotometricheskim metodom s sul'fosalicilovoy kislotoy [Investigation of iron content in the small rivers waters of the North-Eastern Altai by photometric method with sulfosalicylic acid] // *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2022. No. 3 (66). P. 19–32. (in Russian).

Vozbutsкая A.E. Himiya pochv [Soil chemistry]. M: Vysshaya shkola., 1968. 428 p. (in Russian).

Zhilin N.I., Bogatyrev L.G., Benediktova A.I., Ladonin D.V., Karpuhin M.M., Zemskov F.I., Telesnina V.M., Vartanov A.N., Gosse D.D., Demin V.V. Izmeneniye sostava prirodnyykh vod v sisteme “atmosfera nye osadki – pochvennyye rastvory – pochvenno-gruntovyye vody – poverkhnostnyye vody” na primere landshaftov r. Klyaz'my [Changes in the composition of natural waters in the system “atmospheric precipitation – soil solutions – soil-ground waters – surface waters” (the case study of klyazma river landscapes)] // *Vestnik Moskovskogo universiteta Seriya 17: Pochvovedeniye* [Moscow University Soil Science Bulletin]. 2022. No. 1. P. 3–13. (in Russian).

Zaitseva R.I., Minashina N.G., Sudnitsyn I.I. Izmeneniye sostava i koncentracii rastvorov sul'fata natriya v pochvennykh porakh [Changes in the Composition and Concentration of Sodium Sulphate Solutions in Voids] // *Pochvovedeniye* [Soil Science]. 1996. No. 7, P. 833–838. (in Russian).

Zaitseva R.I., Minashina N.G., Sudnitsyn I.I. Koncentraciya rastvorov hloristogo natriya v porakh razlichnogo razmera [Concentration of Sodium Chloride Solutions in Pores of Various

Size] // Pochvovedenie [Soil Science]. 1997. No. 3. P. 284–289. (in Russian).

Malinina M.S., Karavanova E.I., Belyanina L.A., Ivanilova S.V. Sravnenie sostava vodnyh vytyazhek i pochvennyh rastvorov torfyanisto-podzolistykh gleevatykh pochv Central'nogo lesnogo gosudarstvennogo biosfernogo zapovednika [Comparative analysis of the composition of water extracts and soil solutions from peat gleyic podzolic soils of the Central forest state biosphere reserve] // Pochvovedenie [Soil Science]. 2007. No. 4. P. 428–437. (in Russian).

Mal'ko S.V., Nechaevskaya A.A., Nechaevskaya A.A. Primenenie metodov operativnogo kontrolya sodержaniya ionov zheleza v vode ozera Churbashskogo [Application of methods of operational control of iron ion content in the water of Lake Churbashsky] // Biologicheskoe raznoobrazie: izuchenie, sohranenie, vosstanovlenie, racional'noe ispol'zovanie: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (19–23 sentyabrya 2018 g.) [Biological diversity: study, conservation, restoration, rational use: Materials of the International Scientific and Practical Conference (September 19-23, 2018.)]. 2018. P. 330–336. (In Russian).

Novikov Yu.V., Lastochkina K.O., Boldina Z.N. Metody issledovaniya kachestva vody vo doemov. [Methods of water quality research in reservoirs]. Moscow, Medicina Publ, 1990, 397 p. (In Russian).

Orlov D.S. Himiya pochv [Soil Chemistry]. Moscow: MGU, 1985. 376 p. (In Russian).

Platonova T.K., Shmyglya L.N. Differencial'naya poristost' i frakcionnyj sostav porovykh rastvorov temno-kashtanovykh pochv nizkoj Syrtovoj ravniny [Differential porosity and fractional composition of void solutions in the dark chestnut soils of the low Syrt plain] // Pochvovedenie [Soil Science]. 1986. No. 6. P. 98–102. (in Russian).

PND F 14.1:2:4.50-96. Methodology for measuring the mass concentration of total iron in drinking, surface and waste waters by the photometric method with sulfosalicylic acid. M., 2011. 20 p.

Polubesova T.A., Ponizovsky A. A. Rezhim i rezhimoobrazuyushchie faktory sodержaniya ne rastvoryayushchej vlagi v seroj lesnoj pochve sel'skohozyajstvennogo ispol'zovaniya [Mode and regime-forming factors of the content of insoluble moisture in the gray forest soil of agricultural use] // Kompleksnoe izuchenie produktivnosti agroecozov. [Comprehensive study of the productivity of agroecozones.] Pushchino Academy of Sciences of the USSR, 1987. P. 77–85. (in Russian).

Popov V.V. Pochvennyj rastvor i metody ego izucheniya [Soil solution and methods of its investigation] // Pochvy i okruzhayushchaya sreda [Soils and Environment]. 2020. Vol. 3, no. 1. P. 4 (in Russia).

Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Rozhdestvenskaya T.A., Balykin S.N., Balykin D.N., Saltykov A.V., Troshkova I.A., Dvurechenskaya S.Ya. Vliyanie biogeoхимической обстановки водосборного бассейна озера Телецкого (Северо-Восточный Алтай) на содержание главных ионов и Fe в водах его притоков [Influence of the biogeochemical situation of the lake Teletskoe catchment (North-Eastern Altai) on the content of the major ions and Fe in the tributaries waters] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov [Bulletin of

the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]. 2022. Vol. 333, no. 2. P. 111–122. (in Russian).

Raudina T.V. Pochvennyj rastvor: ot klassicheskikh predstavlenij k sovremennym ponyatiyam [Soil solution: from classical notions to modern concepts] // Otrazhenie bio-, geo-, antroposfernyh vzaimodejstvij v pochvah i pochvennom pokrove: Materialy V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 85-letiyu kafedry pochvovedeniya i ekologii pochv TGU (7–11 sentyabrya 2015 g., Tomsk, Rossiya) [Reflection of Bio-, Geo-, and Anthropospheric interactions in soils and soil cover: Materials of the Vth International Scientific Conference dedicated to the 85th anniversary of the Department of Soil Science and Soil Ecology of Tomsk State University (September 7–11, 2015 g.)]. Tomsk: TSU Publishing House, 2015. P. 87–93. (in Russian).

Rode A.A. Osnovy ucheniya o pochvennoj vlage [Fundamentals of the doctrine of soil moisture]. Vol. 1. Water properties of soils and soil moisture movement. Moscow: Nauka Publ., 1965. 664 p. (in Russian).

Senkov A.A. Ionno-solevoj sostav pochvennyh rastvorov i vodnyh vytyazhek [Ion-salt composition of soil solutions and aqueous extracts] // Pochvoobrazovanie i antropogenez: strukturno-funkcional'nye aspekty [Soil formation and anthropogenesis: structural and functional aspects]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. P. 156–167. (in Russian).

Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Ali M.M.B. Opredelenie osnovnoj gidrofizicheskoy harakteristiki pochv metodom centrifugirovaniya [The determination of the primary hydrophysical function of soil by the centrifuge method] // Pochvovedenie [Soil Science]. 1998. No. 11. P. 1362–1370. (in Russian).

Smirnov A.P. Vserossiyskaya nauchnaya konferenciya “Lizimetricheskie issledovaniya v agrokhimii, pochvovedenii i melioracii” [All-russia scientific conference “Lysimetric studies in agricultural chemistry, soil science, and land reclamation”] // Agrokimiya [Agrochemistry] 2005. No. 5. P. 90–92. (in Russian).

Snakin V.V., Prisyazhnaya A.A., Rukhovich O.V. Sostav zhidkoj fazy pochvy [The composition of the liquid phase of the soil]. Moscow: REFIA Publ., 1997. 146 p. (in Russian).

Timofeeva E.A. Neodnorodnost' himicheskogo sostava zhidkoj fazy osnovnyh tipov pochv CLGPBZ: Central'no-lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika: dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk [Inhomogeneity of the chemical composition of the liquid phase of the main soil types of the Central Forest State Natural Biosphere Reserve. Dissertation .Cand. of Biol. Sci. in Biology]. Moscow, 2010. 184 p. (in Russian).

Shein E.V. Kurs fiziki pochv [Soil Physics Course]. M.: Izdatel'stvo MGU, 2005. 432 p. (in Russian).

Shoba B.N., Senkov A.A. Ravnovesnyj sostav i svojstva rastvorov pochv [The equilibrium composition and properties of soil solutions] // Pochvovedenie [Soil Science]. 2011. No. 10. P. 1168–1177 (in Russian).

Ammari T., Mengel K. Total soluble Fe in soil solutions of chemically different soils // Geoderma. 2006. Vol. 136, no. 3–4. P. 876–885.

Baboshkina S.V., Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A., Elchinina O.A., Troshkova I.A., Balykin D.N. Modeling of vertical moisture transfer in agricultural soils under two land use types // Soil and Environment. 2020. Vol. 39, no. 2. P. 211–222.

Bresler E., McNeal B.L., Carter D.L. Saline and Sodic Soils: Principles-Dynamics-Modeling. Springer Berlin Heidelberg, 1982. 236 p.

Gloaguen, T.V., Pereira F.A.C., Gonçalves R.A.B., Paz V.S. Sistema de extração sequencial da solução na macro e microporosidade do solo // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2009. Vol. 13, no. 5. P. 544–550 (in Portuguese).

Prorok V.V., Dacenko O.I., Bulavin L.A. Dependence of the concentrations of ^{137}Cs and potassium in extracted soil solutions on soil humidity before centrifugation // Nuclear Physics and Atomic Energy, 2017. Vol. 18, no. 1. P. 87–92.

Somavilla A., Dessbesell A., Santos D. Centrifugation methodology to extract soil solution // Scientia Agraria, 2017. Vol. 18, no. 3. P. 44–47.

Souza E.R., Melo H.F., Almeida B.G., Melo D.V.M. Comparação de métodos de extração da solução do solo // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2013. Vol. 17. no.5. P. 510–517. (in Portuguese).

IRON IN SOIL SOLUTIONS OF MOUNTAIN-FOREST SOILS OF THE LAKE TELETSKOYE BASIN

S.V. Baboshkina, T.A. Rozhdestvenskaya, A.V. Puzanov, I.A. Troshkova,
M.P. Peleneva, S.N. Balykin

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul

E-mail: svetlana@iwep.ru., rtamara@iwep.ru, puzanov@iwep.ru, egorka_iren@mail.ru,

kuroi_t@mail.ru, balykins@rambler.ru

The content of dissolved Fe, as well as the pH level and total mineralization in centrifuge soil solutions of mountain forest soils of the Teletskoye Lake basin were studied. Fe concentrations in soil solutions filtered through a membrane filter were determined spectrophotometrically with 2,2-dipyridyl. The content of Fe in the studied soil solutions, corresponding to capillary moisture, varies within 390–2645 $\mu\text{g/l}$, which is consistent with the literature data. In the mountain-forest soils of the shores of the latitudinal part of the lake, the soil solutions contain noticeably lower concentrations of Fe (390–1090 $\mu\text{g/l}$) than the soil solutions of the soils in the basin of the meridional part of the lake (540–2645 $\mu\text{g/l}$). The content of Fe in soil solutions of the soils of the Lake Teletskoye basin inversely depends on their pH level ($r=-0.81$), which is explained by the greater mobility and better solubility of iron in an acidic environment. Fe content in soil solutions also determined by the granulometric composition of soils – clayey soils have more fine pores containing more concentrated soil solutions. A strong inverse relationship

($r=-0.76$) was found between the level of total mineralization of soil solutions and the porosity of mountain-forest soils in the Teletskoye Lake basin: the looser and porous the soil, the less mineralized its soil solution.

Keywords: soil solutions; capillary water; centrifugation; Fe; spectrophotometry; total mineralization; water pH; mountain forest soils; Lake Teletskoye.

Received August 9, 2023. Accepted: August 30, 2023

Сведения об авторах

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@iwep.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.

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@iwep.ru.

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.

Пеленева Мария Петровна – ведущий технолог лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-3444-2336. E-mail: kuroi_t@mail.ru.

Балыкин Сергей Николаевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0001-5598-0470. E-mail: balykins@rambler.ru.

Information about the authors

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.

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.

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.

Pelenyova Mariya Petrovna – Engineer of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-3444-2336. E-mail: kuroi_t@mail.ru.

Balykin Sergey Nikolaevich – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-5598-0470. E-mail: balykins@rambler.ru.

УДК 597.0/5–11

К ЭКОЛОГИИ ОБЫКНОВЕННОГО ЕРША ИЗ ВОДОЕМОВ СИБИРИ

П.А. Попов

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Новосибирск, E-mail: popov@iwep.nsc.ru

В водоемах (реках, озерах и водохранилищах) Сибири из семейства окуневых (*Percidae*) обитает два вида-аборигена: обыкновенный ерш *Gymnocyphalus cernuus* и речной окунь *Perca fluviatilis*, а также распространенный локально вид-акклиматизант – обыкновенный судак *Sander lucioperca*. В тех водоемах, в которых ерш сравнительно многочислен, он играет заметную роль в формировании структуры и функционировании ихтиоценозов, составляя конкуренцию другим видам рыб на почве питания и размножения. В научно-прикладном отношении этот вид представляет интерес как индикатор экологического состояния водоема, предпочитая селиться в реках, озерах и притоках водохранилищ олиго-мезотрофного типа, избегая озер с повышенной минерализацией и высоким содержанием органических соединений. Ерш, как и окунь, является промежуточным хозяином опасного для человека лентеца *Diphyllbothrium latum* и, как и другие рыбы, способен накапливать в органах и тканях тяжелые металлы и радионуклиды. В некоторых водоемах Сибири ерш является не только объектом любительского, но и промыслового лова.

Ключевые слова: водоемы Сибири; рыбы Сибири; семейство окуневых; обыкновенный ерш; экология ерша.

DOI:10.24412/2410-1192-2023-17106

Дата поступления: 24.07.2023. Принята к печати: 12.08.2023

Степень изученности экологии обыкновенного ерша *Gymnocyphalus cernuus* (L., 1758) из водоемов (рек, озер и водохранилищ) Сибири заметно уступает таковой другого вида семейства окуневых (*Percidae*) – речного окуня *Perca fluviatilis* L., 1758. По всей видимости, это связано с гораздо большей ролью, которую играет последний в промысле [Кириллов, 2002; Экология рыб..., 2006; Попов, 2007]. Тем не менее, анализ доступной информации свидетельствует о важной роли, которую ерш играет в ихтиоценозах тех водоемов, в которых он сравнительно многочислен, и не только.

В частности, ерш предпочитает селиться преимущественно в реках, озерах и притоках водохранилищ олиго-мезотрофного типа, избегая бессточных озер с повышенной минерализацией, водоемов с высоким содержанием органических соединений и др. Отсюда следует, что ерш является хорошим ихтиоиндикатором экологического состояния того или иного водоема [Попов, 2002; Попов, Трифонова, 2002; Борисова, 2014; Истомин, Хохлова, 2015]. Кроме того, ерш, как и окунь, является промежуточным хозяином опасного для человека лентеца *Diphyllbothrium latum* [Безгачина, 2013;

Костицина, Калачев, 2014; Минеева, 2016] и, как и другие рыбы, способен накапливать в органах и тканях тяжелые металлы и радионуклиды [Попов, 2002; Семенов, 2010; Никулина, 2014]. Цель настоящей статьи – обобщение информации научных публикаций по некоторым сторонам экологии обыкновенного ерша из водоемов Сибири. Латинские названия рыб в тексте даны в соответствии с «Атласом пресноводных рыб России» [2003].

Распространение

Кроме обыкновенного ерша, в пресных водах России обитает 6 видов рыб из семейства окуневых, входящего в состав отряда окунеобразные (Perciformes) – одного из наиболее многочисленных по числу ныне живущих в морях и континентальных водоемах видов рыб. По мере продвижения к высоким широтам видовое разнообразие этих рыб заметно снижается [Никольский, 2012]. Случайно завезен обыкновенный ерш в оз. Верхнее (система Великих Озер Северной Америки), в котором по мере акклиматизации составил существенную конкуренцию местным видам рыб [Dennis, 1992; Hutchings, 2014; Hayden et al., 2015; Решетников, 2020].

Тело у ерша короткое, сжатое с боков, его высота составляет 20–30 % длины тела. Рот небольшой, нижний. Голова голая, на ней имеются большие полости сенсорной системы. На заднем крае предкрышки – 5–10 шипов, на нижнем – 3, на крышке – один хорошо развитый. Один колючий луч имеется в брюшных плавниках и два – в анальном. Все лучи передней части спинного плавника в числе 11–16

колючие. Окраска тела серовато-жёлтая, дорсальная часть туловища зеленоватая или тёмно-серая, на плавниках и теле бурые пятна [Решетников и др., 2016]. Несмотря на сравнительно большое разнообразие морфофизиологии, обусловленной как особенностями генотипа популяций, так и условиями обитания, подвиды ерша не выделены [Селюков, 2007; Никольский, 2012; Кириллов и др., 2014; Решетников и др., 2016; Тяптиргянов, 2020].

В водоемах Сибири из окуневых обитает два вида-аборигена: обыкновенный ерш и речной окунь, и распространенный локально вид-акклиматизант – обыкновенный судак *Sander lucioperca* (L., 1758) [Попов, 2007]. Отсутствует ерш на Чукотке, в реках и озерах тихоокеанского побережья, в бассейне Амура, на Сахалине [Черешнев, 1992; Атлас пресноводных..., 2003; Сафонов, Никифоров, 2003]. На территории Сибири ерш известен в реках и озерах олиго- и мезотрофного типа, во всех водохранилищах, предпочитает селиться в их притоках [Попов, 2009; 2010], в дельтах сибирских рек и опресненных их водами участках Ледовитого океана [Кириллов, 2002; Атлас пресноводных..., 2003; Баранов, Лугаськов, 2015; Попов, 2015]. Широко распространен в бассейне Оби, включая Обскую и Тазовскую губы [Гундризер и др., 1984; Журавлев, 2003; Матковский 2006; Попов, 2013]. Встречается в реках и гораздо реже в озерах Ямала [Богданов, 2005]. Заходит в большом числе из Обской губы на нагул и нерест в р. Надым [Попов, 2013]. Обитает в реках и материковых озерах Гыданского п-ова [Попов, 2013]. В Горном Алтае отсутствует в оз. Телецком, реках и озерах

высокогорий, но обычен в Бии и Катуні [Журавлев, 2003; Попов, 2007]. Нет ерша в бессточных озерах Обь-Иртышского междуречья. Был многочислен в оз. Убинском, но по мере обмеления и роста минерализации воды ерш из него исчез [Попов и др., 2015]. Малочислен ерш в Новосибирском водохранилище [Попов, Визер, 2014].

В Енисее ерш распространен от верховьев до Енисейского залива включительно [Вышегородцев, 2000]. В водоемах Тувы, кроме оз. Азас в бассейне Большого Енисея, малочислен. Есть во всех левобережных и правобережных притоках Енисея [Попов, 2007; Юрьев, Юрьев, 2010], в большинстве озер плато Путорана [Сиделев, 1981]. В р. Хантайке отмечен только на отрезке ниже Хантайской ГЭС и не обнаружен в озерах среднего и верхнего участков реки, включая оз. Большое Хантайское. Лишь изредка вылавливается ерш в северной части Хантайского водохранилища [Романов, 2004]. Известен в р. Пясине [Савваитова и др., 1994], но отсутствует в оз. Таймыр, сравнительно многочислен в нижнем течении рек Хета и Хатанга [Романов, Тюльпанов, 1985]. Не обнаружен ерш в Байкале, но известен в Ангаре и ангарских водохранилищах [Биоразнообразие байкальской..., 1999]. Обитает в притоках верхнего течения Лены [Юрьев и др., 2022]. Не отмечен этот вид в водоемах Южного Забайкалья [Карасев, 1987], широко распространен в бассейне Витима, в том числе есть в оз. Орон, в системе Ципо-Ципиканских и Баунтовских озер [Структура биоты..., 2006]. Обычен ерш во всех реках Якутии и в некоторых пойменных и термокарстовых озерах этого региона, особенно многочислен в среднем

течении Лены близ устья Витима [Кириллов, 2007; Тяптиргянов, 2020]. В Колыме, в отличие от других рек Якутии, массовых скоплений не образует [Кириллов, 2002].

Поведение

Поведение ерша во всех типах водоемов сходное. Большую часть года эта рыба держится, как правило, стаями у дна на участках с песчано-илистым или глинистым, реже – каменисто-галечным дном, избегая не только быстрого течения, но и хорошо прогреваемые участки. Окраска тела ерша имеет мимикрический облик. При увеличении в воде большого количества взвеси тело ерша покрывается слизью, что улучшает дыхание рыбы. Хорошо развитая система сенсорных органов ерша и хеморецепции способствует ориентации и эффективности поиска пищи [Касумян, 2010; Касумян, Марусов, 2015; Мартемьянов, 2015].

Протяженных миграций ерш в течение жизни не совершает, но локальные передвижения, связанные с процессом нагула, размножения, скоплений на зимовку, ухода из загрязненных участков или снижения в их пределах растворенного в воде кислорода, могут быть четко выраженными и сложными, как, например, это выявлено в Обской и Тазовской губах [Матковский, Степанов, 2009; Попов, 2017], в некоторых водохранилищах Чехии [Kubeska, 1993], в болгарском водохранилище р. Росица [Mikheev, Pavlov, 1993]. Здесь же отметим, что ерш выживает при снижении в воде концентрации кислорода до 0.8–0.6 мг/л [Голованов, 2014].

Возраст и рост

В бассейне Оби и Енисея ерш живет до 11–16, редко – до 18 лет, и достигает 22–24 см длины (L) и 200 г массы (G). В южных районах Сибири ерш живет меньшее число лет, чем в северных, но растет быстрее и половозрелым становится раньше [Гундризер и др., 1984; Карасев, 1987]. Наибольшие размеры тела отмечены у ерша из Средней Оби, Обской губы, р. Турухан (левобережье Среднего Енисея), в Ангаре и Братском водохранилище, в озерно-речной системе Ципо-Ципиканских и Баунтовских озер и в оз. Бусани [Карасев, 1987; Попов, 2007]. Медленно растет и не достигает крупных размеров ерш в реках Хатанга и Виллой [Кириллов, 2002]. В оз. Верхнее [Великие Озера Сев. Америки] рост вселенного ерша оказался оптимальным для молоди при температуре воды 21°C из использованных в опытах от 7 до 25°C [Edsall et al., 1993]. Как известно [Дгебуадзе, 2001], рост рыб, включая ерша, в значительной степени зависит от условий их обитания.

Размножение

В водоемах Сибири ерш становится половозрелым на третьем – четвертом годах жизни при достижении 7–11 см длины и 10–30 г массы. В благоприятных условиях обитания ерш приступает к размножению на втором году жизни, но в неблагоприятных условиях на год – два позже [Кириллов, 2002; Экология рыб..., 2006]. Сведения о наличии в популяциях ерша из водоемов Сибири интерсексуальных особей, как, например, это было выявлено у ерша из восточной части Финского залива

[Решетников и др., 2016], в публикациях отсутствуют.

В водоемах Оби нерест ерша двухпорционный, происходит в мае – первой половине июня и длится около месяца. Первую порцию икры самки выметывают при температуре воды 4–9°C, вторую – при 15–20°C. После выброса первой порции яичники становятся дряблыми, в них присутствуют лопнувшие фолликулы, начинается процесс созревания икринок второй генерации. После выметывания второй порции в яичниках остаются только ооциты генерации следующего года и небольшое число икринок второй генерации. Икринки первой генерации имеют желтую окраску и диаметр около миллиметра. Икринки второй генерации окрашены бледнее и имеют меньшие размеры – в среднем 0.4 мм. Некоторые авторы [Петлина, Романов, 2004] указывают на то, что в благоприятных условиях обской ерш откладывает не две, а три порции икры: первую при температуре воды 4–9°C, вторую – 11–13°C, третью – 18–20°C. С продвижением с юга на север сроки нереста ерша сдвигаются на более поздние даты. Так, в Бухтарминском водохранилище ерш приступает к размножению в конце апреля – первых числах мая, в верховьях Оби и в ее среднем течении – во второй половине мая, в Нижней Оби – в конце июня [Гундризер и др., 1984; Мамилов, 2021]. В Надыме – притоке юго-восточной части Обской губы, первую порцию икры ерш откладывает в середине июня – после полного очищения реки ото льда и прогрева воды до 6.0–8.0°C, вторую порцию – в первой половине июля. В восточных притоках средней части Обской губы ерш нерестит-

ся в конце мая – начале июня, в западных – в конце июня – начале июля; связано это с тем, что реки Ямала освобождаются ото льда позднее рек восточного побережья губы [Богданов, 2005]. В горных водоемах Тувы ерш нерестится в конце мая – начале июня, в бассейне Хатанги – в июле. В оз. Орон и в Лене, в районе устья Витима, вторая порция икры откладывается ершом в конце июня – первой половине июля, в Колыме первую порцию икры самки этого вида выметывают в первой половине июня [Кириллов, 2002].

Икра откладывается ершом на глубине 1.5–2.0 м на прошлогоднюю, часто покрытую налетом ила, растительность, на затопленные кустарники, коряги, пряди мха, на песчаные и каменистые грунты, на глубине 0.6–2.5 м. В притоках Обской губы ерш выметывает икринки преимущественно на песчаный грунт [Матковский, 2006].

Плодовитость ерша в бассейне Оби колеблется от 4 до 52 тыс. икринок в зависимости от длины и массы тела самки. В первой порции отложенной икры содержится в среднем 30 тыс., во второй порции – в среднем 14 тыс. икринок. В условиях горных водоемов Тувы плодовитость ерша в сумме двух кладок составляет 10–12 тыс. икринок, в Братском водохранилище при длине самок 9–10 см – 4 тыс., при длине 15–16 см – 25 тыс., в Баунтовских озерах в возрасте 3+ – 2.5 тыс., в 4+ – 4.3 тыс., в 5+ – 4.9 тыс., в оз. Орон в 3+–7+ – 5.7–14.7 тыс. икринок [Структура биоты..., 2006].

Сведения о продолжительности инкубации икринок ерша в водоемах Сибири скудны. В Оби этот период при температуре воды 15–16°C длится 5–6 суток, при

20°C – около 4.5 суток. Выклюнувшиеся из икринок личинки имеют длину около 4 мм, в возрасте 11 суток при длине 5–6 мм они начинают активно питаться. В Колыме выклев личинок происходит на 8–10-е сутки, к октябрю сеголетки достигают 37–38 мм длины [Кириллов, 2002].

Питание

В течение первого лета жизни ерш в водоемах Сибири питается зоопланктоном, мелкими организмами зообентоса и в небольшой степени водорослями. Пища взрослого ерша состоит из организмов зообентоса и нектобентоса, икры и небольшого размера рыб, в меньшей степени – водорослей планктона и перифитона, гидрофитов [Бабкина, 2014]. Элементы хищничества особенно характерны для ерша северных популяций в связи с ограниченными возможностями питания рыб-бентофагов в водоемах этих широт в целом. В большинстве водоемов ерш питается в течение всего года, включая время нереста, наиболее активно в июле – августе, наименее активно в ноябре – феврале [Карасев, 1987; Кириллов, 2002]. В условиях загрязнения водоемов или низких значениях pH воды интенсивность этого процесса может существенно снижаться [Касумян, Марусов, 2015].

В Обской губе объектами питания ерша являются амфиподы, мизиды, морские тараканы, моллюски, полихеты, личинки хирономид, ручейников, имаго насекомых, икра рыб, в небольшой степени ракообразные планктона. В большом количестве концентрируется ерш на нерестилищах сиговых рыб в уральских притоках Оби и бухтах Обской губы [Слепокуров, Андри-

енко, 1990]. В водоемах Якутии в возрасте до года ерш наряду с зоопланктоном потребляет зообентос, взрослый ерш – преимущественно бентофаг, при этом активно поедает икру и молодь рыб [Кириллов, 2002]. В работе [Hayden et al., 2015] показана активная конкуренция ерша на почве питания по отношению к сигу [*Coregonus lavaretus* L., 1758] в некоторых озерах Канады. Следует отметить, что, с другой стороны, ерш является объектом питания хищных рыб, например, хищных рыб Рыбинского водохранилища [Иванова, Свирская, 2014], нельмы в период ее миграции в Енисее к местам нереста [Белов, 2016].

Вылов

Несмотря на то, что в некоторых водоемах Сибири численность ерша сравнительно высокая, специализированный лов этой рыбы не ведется и он фигурирует в статистике вылова как «мелочь II–III группы» или как «мелкий частичек». В 1960-е гг. в Обской губе вылавливалось тралением (в настоящее время запрещенным) до 500 ц ерша в год (иногда до 500 кг за одно траление). В целом в бассейне Оби с 1953 по 1963 г. ежегодно добывалось от 9.8 до 28.7 тыс. ц ерша [Матковский, Степанов, 2000; Богданов, 2005]. В бассейне Енисея вылов ерша промысловой статистикой учитывался sporadически. Например, в 1958 г. было добыто 36 ц этой рыбы, в 1962 г. – 279 ц, в 1966 г. – 47 ц, в 1978 г. – 2 ц [Андриенко и др., 1989]. В водоемах Восточной Сибири вылов ерша учитывается до настоящего времени в составе «мелочи» [Тяптиргянов, 2016, 2020].

Заключение

Благодаря ряду морфофизиологических особенностей, часть которых указана выше, обыкновенный ерш обитает в водоемах Сибири весьма широко, играя заметную роль в структуре и функционировании ихтиоценозов. К наиболее важным адаптивным характеристикам ерша в процессе конкуренции с другими видами рыб следует отнести: 1) вооруженность его головы и туловища шипами, а также стайный образ жизни, что снижает гибель ерша от хищников; 2) хорошо развитая система сенсорных органов и хеморецепции, что способствуют ориентации в водоеме, эффективности поиска пищи и избеганию хищников; 3) лабильность в сроках нереста и использовании нерестового субстрата в зависимости от условий размножения; 4) активность питания в течение года и сравнительно большой спектр пищевых организмов, включая икру и молодь рыб. К основным причинам, в силу которых ерш малочислен или отсутствует в ряде водоемов Сибири, следует отнести низкие температуры воды в летний период, высокую степень минерализации водоема или его загрязнение. В работе [Решетников и др., 2016] обращается внимание и на тот факт, что массовая гибель ерша наблюдалась в ряде водоемов в случае их чрезмерного эвтрофирования и, как следствие, образования бескислородных зон. Как одну из причин гибели авторы называют и паразитарные заболевания ерша.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of Interest. The author declares no conflict of interests

Список литературы

Андриенко А.И., Богданов Н.А., Богданова Г.И., Криницин В.С., Михалев Ю.В., Михалева Т.В. Рыбохозяйственная характеристика основных естественных водоемов Красноярского края // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ, 1989. Вып 296. С. 3–19.

Атлас пресноводных рыб России. М.: Наука, 2003. Т.2. 252 с.

Бабкина И.Б. Биологическая характеристика обыкновенного ерша *Gymnoserphalus cernuus* (Linnaeus, 1758) Нижней Томи // Зоологические чтения: Мат. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (11 апреля 2014 г., Новосибирск). Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2014. С. 186–191.

Баранов В.Ю., Лугаськов А.В. Формирование современного ихтиологического комплекса в экосистеме горного Верхне-Выйского водохранилища на Среднем Урале // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. х-во. 2015. № 1. С. 26–36.

Безгачина Т.В. К вопросу о паразитах сиговых рыб, опасных для здоровья человека // Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб: Материалы Восьмого международного научно-производственного совещания (27–28 ноября 2013 г., Тюмень). Тюмень, 2013. С. 12–16.

Белов М.А. Особенности спектра питания нельмы *Stenodus leucichthys* (Guldenstadt, 1772) реки Енисей в период нерестового хода // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2016. № 2. С. 19–24.

Биоразнообразие байкальской Сибири. Новосибирск: Наука, 1999. 349 с.

Богданов В.Д. Состояние ихтиофауны Нижней Оби // Научный вестник. Экологические исследования на Ямале: итоги и перспективы. Салехард: Изд-во: «Красный Север», 2005. Вып. 1 (32). С. 40–49.

Борисова Л.Е. Новые сведения о регистрации донского ерша *Gymnoserphalus ascerinus* (Guldenstadt, 1775) в среднем течении р. Ворона // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем: Мат. всерос. научно-практической конференции (16–17 октября 2014 г., Балашов). Саратов: Саратовский источник, 2014. С. 25–28.

Вышегородцев А.А. Рыбы Енисея: Справочник. Новосибирск: Наука, 2000. 237 с.

Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности рыб. Прогноз, экологические риски и экспертная оценка // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов: Материалы докладов II Всероссийской конференции с международным участием (06-09 ноября 2014 г., Борок). Новочеркасск, 2014. Т. 1. С. 162–170.

Гундризер А.Н., Иогансен Б.Г., Кривошеков Г.М. Рыбы Западной Сибири. Томск: ТГУ, 1984. 120 с.

Дгебуадзе Ю.Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М., 2001. 276 с.

Журавлев В.Б. Рыбы бассейна Верхней Оби. Барнаул, 2003. 291 с.

Иванова М.Н., Свирская А.Н. Динамика питания хищных рыб Рыбинского водохранилища за период 1949–2012 гг. // Современное состояние биоресурсов внутренних во-

доемов: Материалы докладов II Всероссийской конференции с международным участием (06-09 ноября 2014 г., Борок). Новочеркасск, 2014. Т. 1. С. 204–212.

Истомин С.Г., Хохлова В.Н. Ихтиофауна реки Белой в районе г. Стерлитамак // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Химический состав и качество воды. Геоэкология и водная экология: Труды VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. (30 мая-02 июня 2019 г., Пермь). Пермь, 2015. Т. 2. С. 254–257.

Карасев Г.Л. Рыбы Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1987. 267 с.

Касумян А.О. Оценка рыбами объектов питания с помощью внутриротовой рецепции: поведенческие и физиологические аспекты // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов. Петрозаводск, 2010. Т. 1. С. 74–79.

Касумян А.О., Марусов Е.А. Избирательное питание рыб: влияние пищевой и оборонительной мотиваций, вызванных натуральными запахами // Журн. общей биологии. 2015. Т. 76, № 3. С. 195–211.

Кириллов А.Ф. Промысловые рыбы Якутии. М.: Научный мир, 2002. 194 с.

Кириллов А.Ф. Таксономический состав ихтиофауны пресноводных водоемов Якутии // Вестник Якутского гос. Университета. 2007. Вып 4. № 1. С. 5–8.

Кириллов А.Ф., Мамилов Н.Ш., Салова Т.А. Анализ тенденции изменения морфологических показателей речного окуня *Perca fluviatilis* и обыкновенного ерша *Gymnoscaphalus cernuus* (Perciformes, Percidae) реки Лена в долгосрочном временном интервале // Наука и образование. 2014. № 2. С. 60–66.

Костицына Н.В., Калачев А.А. Многоклеточные паразиты ерша и окуня из двух водотоков Пермского края с различной антропогенной нагрузкой // Известия Самарского НЦ РАН. 2014. Т. 16, № 5. С. 569–574.

Мамилов Н.Ш. Морфологическая и биологическая изменчивость рыб в условиях антропогенной нагрузки. Алматы: КазНУ им. Аль-Фараби, 2021. 306 с.

Мартемьянов В.И. Физиологические механизмы регуляции водного гомеостаза у пресноводных гидробионтов при адаптации к факторам среды. // Тр. ин-та биол. внутр. вод РАН. 2015. № 72. С. 99–110.

Матковский А.К. Рыбы Обской и Тазовской губы Карского моря // Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. С. 311–325.

Матковский А.К., Степанов С.И. Ихтиофауна, миграции и особенности сезонного распределения рыб в Обской губе // Биол. ресурсы побережья российской Арктики. М.: Изд-во ВНИРО, 2000. С. 74–86.

Минеева О.В. Материалы к фауне многоклеточных паразитов обыкновенного ерша *Gymnoscaphalus cernuus* Linnaeus, 1758 в Саратовском водохранилище // Рос. паразитол. Журнал. 2016. № 1. С. 16–23.

Никольский Г.В. Избранные труды. М.: ВНИРО, 2012. 464 с.

Никулина Ю.С. Оценка содержания тяжелых металлов в органах и тканях некото-

рых видов рыб // Проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса на современном этапе: Тезисы докладов I международной конференции молодых ученых (22–24 октября 2014 г., Мурманск). Мурманск, 2014. С. 114–116.

Петлина А.П., Романов В.И. Изучение молоди пресноводных рыб Сибири: Учеб. пособие. Томск, 2004. 203 с.

Попов П.А. Видовой состав и характер распространения рыб на территории Сибири // Вопр. Ихтиологии. 2009. Т.49, № 4. С. 451–463.

Попов П.А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. Новосибирск: НГУ, 2002. 270 с.

Попов П.А. Рыбы Сибири. Новосибирск: НГУ, 2007. 526 с.

Попов П.А. Формирование ихтиоценозов и экология промысловых рыб водохранилищ Сибири. Новосибирск: Изд-во «ГЕО», 2010. 216 с.

Попов П.А. Рыбы Субарктики Западной Сибири. Новосибирск: НГУ, 2013. 206 с.

Попов П.А. Пресноводные рыбы арктического побережья Сибири // Вестник ТГУ. 2015. №. 4. С. 6–25.

Попов П.А. Миграции пресноводных рыб Обь-Иртышской устьевой области // Вестник СВФУ. 2017. № 4. С. 24–33.

Попов П.А., Визер А.М. Состав ихтиоценоза и рыбопродуктивность Новосибирского водохранилища // Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 230–264.

Попов П.А., Воскобойников В.А., Ядренкина Е.Н., Щенев В.А. Рыбы и рыболовство в озере Чаны // Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь). Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2015. С. 136–161.

Попов П.А., Трифонова О.В. Влияние загрязнения реки Томь на состояние ее ихтиофауны // Обской вестник. 2002. № 1–2. С. 23–33.

Решетников Ю.С. О фазах вселения нового вида в пресноводные экосистемы // Успехи современной биологии. 2020. Т. 140, № 3. С. 294–305.

Решетников Ю.С., Попова О.А., Кияшко В.И. и др. Обыкновенный ёрш *Gymnoscephalus cernuus* (Linnaeus, 1758). Систематика, морфология, образ жизни и роль ерша в экосистемах. М.: Тов-во научных знаний КМК, 2016. 279 с.

Романов В.И. Ихтиофауна плато Путорана // Фауна позвоночных животных плато Путорана. М., 2004. С. 29–89.

Романов Н.С., Тюльпанов М.А. Ихтиофауна озер полуострова Таймыр // География озер Таймыра. Л., 1985. С. 139–181.

Савваитова К.А., Пичугин М.Ю., Максимов В.А. Изменение состава ихтиофауны водоемов Норило-Пясинской водной системы в условиях интенсивного антропогенного воздействия // Вопр. Ихтиологии. 1994. Т. 34, № 4. С. 566–569.

Сафронов С.Н., Никифоров С.Н. Список рыбообразных и рыб пресных и солоноватых вод Сахалина // Вопр. Ихтиологии. 2003. Т. 43, вып 1. С. 42–53.

Селюков А.Г. Морфофункциональный статус рыб Обь-Иртышского бассейна в современных условиях. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2007. 184 с.

Семенов Д.Ю. Биоэкологическая характеристика обыкновенного ерша *Gymnoserphalus cernuus* (Linnaeus, 1758) Куйбышевского водохранилища // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 3(1). С. 117–125.

Сиделев Г.Н. Ихтиофауна крупных озер // Озера Северо-Запада Сибирской платформы. Новосибирск, 1981. С. 151–171.

Слепокуров В.А., Андриенко Е.К. К распределению и численности ерша в Обской и Тазовской губах // Ресурсы животного мира Сибири: рыбы. Новосибирск, 1990. С. 51–53.

Структура биоты водных экосистем. Новосибирск: Наука, 2006. 256 с.

Тяптиргянов М.М. Изменение рыбного населения пресноводных водоемов Якутии в условиях антропогенного загрязнения. М.: «ПОЛИГРАФ-ПЛЮС», 2016. 308 с.

Тяптиргянов М.М. Обыкновенный ёрш *Gymnoserphalus cernuus* (Linnaeus, 1758) // Вестник СВФУ. 2020. № 1 (75). С. 27–39.

Черешнев И.А. Пресноводные рыбы Северо-Востока Азии: Фауна, систематика, история расселения: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Владивосток, 1992. 75 с.

Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 596 с.

Юрьев А.Л., Хлуднев Г.Б., Матвеев А.Н., Самусенок В.П. Биология рыб среднего течения реки Киренги // Известия Иркутского госуниверситета. Серия «Биология. Экология». 2022. Т. 41. С. 45–65.

Юрьев А.Л., Юрьев И.И. Биологическая характеристика окуневых рыб среднего течения р. Нижней Тунгуски // Известия ИрГосУ. Серия «Биология. Экология». 2010. Т. 3. № 2. С. 54–64.

Dennis M. Pratt the ruffe: Impacts in Lake Superior and predicted fate of the lower great Lakes // Nat. Meet. Amer. Assoc. Adv. Sci. Washington, 1992. P. 121–122.

Edsall Th., Selgeby J., DeSorcie Tim., French J. Growth-temperature relation for young-of-the-year ruffe Thomas // J. Great. Lakes Res. 1993. Vol. 19, no. 3. P. 630–633.

Hayden B., Harrod Ch., Sonninen E., Kahilainen K. Seasonal depletion of resources intensifies trophic interactions in subarctic freshwater fish communities // Freshwater Biol. 2015. Vol. 60, no. 5. P 1000–1015. doi: 10.1111/fwb.12564

Hutchings J.A. Unintentional selection, unanticipated insights: Introductions, stocking and the evolutionary ecology of fishes // J. Fish Biol. 2014. Vol. 85, no. 6. P 1907–1926. doi: 10.1111/jfb.12545

Mikheev V.N., Pavlov D.S. Spatial distribution and movement of young fishes in relation to food availability in a reservoir on the Rositsa River // Pol. arch. hydrobiol. 1993. Vol. 40, no. 1. P 31–45.

Kubecka J. Night inshore migration and capture of adult fish by shore seining // Aquacult. and Fish. Manag. 1993. Vol. 24, no. 5. P 685–689.

Referencis

Andrienko A.I., Bogdanov N.A., Bogdanova G.I., Krinichin V.S., Mihalev Yu.V., Mihaleva T.V. Rybokhozyaistvennaya kharakteristika osnovnykh estestvennykh vodoemov Krasnoyarskogo kraya [Fishery characteristics of the main natural reservoirs of the Krasnoyarsk Territory] // Sb. nauch. tr. GosNIORKH [Sat. scientific tr. GosNIORH]. 1989. Vol. 296. P. 3–19. (in Russian).

Atlas presnovodnykh ryb Rossii [Atlas of freshwater fish of Russia]. Vol. 2. M.: Nauka. 2003. 252 p. (in Russian).

Babkina I.B. Biologicheskaya kharakteristika obyknovennogo ersha *Gymnocephalus cernuus* [Linnaeus, 1758] Nizhnei Tomi [Biological characteristics of the common ruff *Gymnocephalus cernuus* [Linnaeus, 1758] of the Lower Tom] // Zoologicheskie chteniya: Mat. Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem (11 aprelya 2014 g) [Zoological readings: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (April 11, 2014)]. Novosibirsk, 2014. P. 186–191. (in Russian).

Baranov V.Yu., Lugas'kov A.V. Formirovanie sovremennogo ikhtiologicheskogo kompleksa v ehkosisteme gornogo Verkhne-Vyiskogo vodokhranilishcha na Srednem Urale [Formation of a modern ichthyological complex in the ecosystem of the Verkhne-Vysky mountain reservoir in the Middle Urals] // Vestn. AGTU. Ser. Ryb. kh-vo [Vestn. AGTU. Ser. Fish. x-in]. 2015. No. 1. P. 26–36. (in Russian).

Bezgachina T.V. K voprosu o parazitakh sigovykh ryb, opasnykh dlya zdorov'ya cheloveka [On the issue of whitefish parasites that are dangerous to human health] // Biologiya, biotekhnika razvedeniya i sostoyanie zapasov sigovykh ryb: Materialy Vos'mogo mezhdunarodnogo nauchno-proizvodstvennogo soveshchaniya (27–28 noyabrya 2013 g.) [Biology, breeding biotechnics and the state of whitefish stocks: Proceedings of the Eighth International Scientific and Production Meeting (November 27–28, 2013 g.)]. Tyumen', 2013. P. 12–16. (in Russian).

Belov M.A. Osobennosti spektra pitaniya nel'my *Stenodus leucichthys* [Guldenstadt, 1772] reki Enisei v period nerestovogo khoda [Features of the feeding spectrum of the nelma *Stenodus leucichthys* [Guldenstadt, 1772] of the Yenisei River during the spawning season] // Rybovod. i ryb. kh-vo [Fish breeder. and fish. x-in]. 2016. No. 2. P. 19–24. (in Russian).

Bioraznoobrazie baikal'skoi Sibiri [Biodiversity of Baikal Siberia]. Novosibirsk: Publishing house of science, 1999. 349 p. (in Russian).

Bogdanov V.D. Sostoyanie ikhtiofauny Nizhnei Obi [The state of the ichthyofauna of the Lower Ob] // Ehkol. issledovaniya na Yamale: itogi i perspektivy [Ecological research in Yamal: Results and prospects]. Salekhard: Izd-vo Krasnyi Sever. 2005. P. 40–49. (in Russian).

Borisova L.E. Novye svedeniya o registratsii donskogo ersha *Gymnocephalus acerinus* (Guldenstadt, 1775) v srednem techenii r. Vorona [New information on the registration of the Don ruff *Gymnocephalus acerinus* (Guldenstadt, 1775) in the middle reaches of the Raven River] // Bioraznoobrazie i antropogennaya transfor matsiya prirodnnykh ehkosistem: Mat. vseros. nauchno-prakticheskoy konferencii (16–17 oktyabrya 2014 g.) [Biodiversity and anthropogenic

transformation of natural ecosystems: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (October 16-17, 2014)]. Saratov, 2014. P. 25–28.

Vyshegorodtsev A.A. Ryby Eniseya: Sprav. [Fishes of the Yenisei: A reference book]. Novosibirsk, 2000. 237 p. (in Russian).

Golovanov V.K. Temperaturnye kriterii zhiznedeyatel'nosti ryb. Prognoz, ekologicheskie riski i ekspertnaya otsenka [Temperature criteria of fish vital activity. Forecast, environmental risks and expert assessment] // *Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennih vodoemov: Materialy dokladov II Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (06-09 noyabrya 2014 g.)* [The current state of bioresources of inland reservoirs: Proceedings of the II All-Russian Conference with International Participation (November 06–09, 2014)]. Novocherkassk, 2014. Vol. 1. P. 162–170. (in Russian).

Gundrizer A.N., Ioganzen B.G., Krivoshechekov G.M. Ryby Zapadnoi [Fishes of Western Siberia]. Tomsk, 1984. 120 p. (in Russian).

Dgebuadze Yu.Yu. Ekologicheskie zakonomernosti izmenchivosti rosta ryb [Ecological patterns of fish growth variability]. M., 2001. 276 p. (in Russian).

Zhuravlev V.B. Ryby basseina Verkhnei Obi [Fishes of the Upper Ob basin]. Barnaul, 2003. 291 p. (in Russian).

Ivanova M.N., Svirskaya A.N. Dinamika pitaniya khishchnykh ryb Rybinskogo vodokhranilishcha za period 1949–2012 gg. [Dynamics of feeding of predatory fish of the Rybinsk reservoir for] // *Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennih vodoemov Materialy dokladov II Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (06-09 noyabrya 2014 g.)* [The current state of bioresources of inland reservoirs: Proceedings of the II All-Russian Conference with International Participation (November 06–09, 2014)]. Novocherkassk, 2014. Vol. 1. P. 204–212. (in Russian).

Istomin S.G., Khokhlova V.N. Ikhtiofauna reki Beloi v raione g. Sterlitamak [Ichthyofauna of the Belaya River near Sterlitamak] // *Sovremennye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov. Khimicheskii sostav i kachestvo vody. Geoekologiya i vodnaya ekhologiya: Trudy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. (30 maya – 02 iyunya 2019 g.)* [Modern problems of reservoirs and their catchments. Chemical composition and water quality. Geoecology and water ecology: Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. (30 May-02 June, 2019.)]. Perm', 2015. Vol. 2. P. 254–257. (in Russian).

Karasev G.L. Ryby Zabaikal'ya [Fish of Transbaikalia]. Novosibirsk: Nauka, 1987. 267 p. (in Russian).

Kasumyan A.O. Otsenka rybami ob'ektov pitaniya s pomoshch'yu vnutritrovoi retseptsii: povedencheskie i fiziologicheskie aspekty [Assessment of food items by fish using intraoral reception: behavioral and physiological aspects] // *Sovremennye problemy fiziologii i biokhimii vodnykh organizmov* [Modern problems of physiology and biochemistry of aquatic organisms]. Petrozavolsk. 2010. Vol. 1. P. 74–79. (in Russian).

Kasumyan A.O., Marusov A.O. Izbiratel'noe pitanie ryb: vliyanie pishchevoi i oboronitel'noi motivatsii, vyzvannykh natural'nymi zapakhami [Selective nutrition of fish: the influence of food and defensive motivations caused by natural odors. Boil.]. // Zh. obshch. biol. [Journal. general biology]. 2015. Vol. 76, no. 3. P. 195–211. (in Russian).

Kirillov A.F. Promyslovye ryby Yakutii [Commercial fish of Yakutia]. M.: Nauka, 2002. 193 p. (in Russian).

Kirillov A.F. Taksonomicheskii sostav ikhtiofauny presnovodnykh vodoemov Yakutii [Taxonomic composition of ichthyofauna of freshwater reservoirs of Yakutia] // Vestnik Yakutskogo gos. Universiteta [Bulletin of the Yakut State. University]. 2007. Vol. 4, no. 1. P. 5–8. (in Russian).

Kirillov A.F., Mamilov N.Sh., Salova T.A. Analiz tendentsii izmeneniya morfologicheskikh pokazatelei rechnogo okunya *Perca fluviatilis* i obyknovennogo ersha *Gymnocephalus cernuus* [Perciformes, Percidae] reki Lena v dolgosrochnom vremennom intervale [Analysis of the trend in the morphological parameters of the river bass *Perca fluviatilis* and the common ruff *Gymnocephalus cernuus* [Perciformes, Percidae] of the Lena River in the long-term time interval] // Nauka i obraz. [Science and education]. 2014. No. 2. P. 60–66. (in Russian).

Kostitsyna N.V. Kalachev A.A. Mnogokletochnye parazity ersha i okunya iz dvukh vodotokov Permskogo kraya s razlichnoi antropogennoi nagruzkoi [Multicellular parasites of ruff and perch from two streams of Perm Krai with different anthropogenic load] // Izvestiya Samarskogo NTS RAN [Izvestia of the Samara Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences]. 2014. Vol. 16, no. 5. P. 569–574. (in Russian).

Mamilov N.Sh. Morfologicheskaya i biologicheskaya izmenchivost' ryb v usloviyakh antropogennoi nagruzki [Morphological and biological variability of fish in conditions of anthropogenic load]. Almaty: KazNU im. Al'-Farabi. 2021. 306 p. (in Russian).

Martem'yanov V.I. Fiziologicheskie mekhanizmy regulatsii vodnogo gomeostaza u presnovodnykh gidrobiontov pri adaptatsii k faktoram sredy [Physiological mechanisms of regulation of water homeostasis in freshwater aquatic organisms during adaptation to environmental factors] // Tr. in-ta biol. vnutr. vod RAN [Izvestia of the Samara Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences]. 2015. No. 72. P. 99–110. (in Russian).

Matkovskii A.K. Ryby Obskoi i Tazovskoi guby Karskogo morya [Fish of the Ob and Taz bay of the Kara Sea] // Ehkologiya ryb Ob'-Irtyskogo basseina [Ecology of fish of the Ob-Irtysk basin]. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2006. P. 311–325. (in Russian).

Matkovskii A.K., Stepanov S.I. Ikhtiofauna, migratsii i osobennosti sezonnogo raspredeleniya ryb v Obskoi gube [Ichthyofauna, migrations and features of seasonal distribution of fish in the Gulf of Ob] // Biol. resursy pribrezh'ya rossiiskoi Arktiki [Biological resources of the Russian Arctic coast]. M.: Izd-vo VNIRO, 2000. P. 74–86. (in Russian).

Mineeva O.V. Materialy k faune mnogokletochnykh parazitov obyknovennogo ersha *Gymnocephalus cernuus* linnaeus, 1758 v Saratovskom vodokhranilishche [Materials for the fauna of

multicellular parasites of the common ruff *Gymnocephalus cernuus* Linnaeus, 1758 in the Saratov reservoir] // Ros. parazit. zh. [Ros. parasitol. journal.]. 2016. No. 1. P. 16–23. (in Russian).

Nikol'skii G.V. Izbrannye Trudy [Selected works]. M.: VNIRO, 2012. 464 p. (in Russian).

Nikulina Yu.S. Otsenka soderzhaniya tyazhelykh metallov v organakh i tkanyakh nekotorykh vidov ryb [Assessment of the content of heavy metals in the organs and tissues of some fish species] // Problemy i perspektivy razvitiya rybokhozyaistvennogo kompleksa na sovremennom etape: Tezisy докладов I mezhdunarodnoj konferencii molodyh uchenykh (22–24 oktyabrya 2014 g.) [Problems and prospects of development of the fishery complex at the present stage: Abstracts of the I International Conference of Young Scientists (October 22–24 2014)]. Murmansk, 2014. P. 114–116. (in Russian).

Petlina A.P., Romanov V.I. Izuchenie molodi presnovodnykh ryb Sibiri: Ucheb. Posobie [Study of juvenile freshwater fish of Siberia: Textbook]. Tomsk, 2004. 203 p. (in Russian).

Popov P.A. Vidovoi sostav i kharakter rasprostraneniya ryb na territorii Sibiri [Species composition and distribution of fish in Siberia] // Vopr. Ikhtiologii [Vopr. Ichthyology]. 2009. T. 49. No. 4. P. 451–463. (in Russian).

Popov P.A. Otsenka ehkologicheskogo sostoyaniya vodoemov metodami ikhtioindikatsii [Assessment of the ecological state of reservoirs by ichthyoindication methods]. Novosibirsk: NGU, 2002. 270 p. (in Russian).

Popov P.A. Ryby Sibiri [Fishes of Siberia]. Novosibirsk: NGU, 2007. 526 p. (in Russian).

Popov P.A. Formirovanie ikhtiotsenozov i ehkologiya promyslovykh ryb vodokhranilishch Sibiri [Formation of ichthyocenoses and ecology of commercial fish reservoirs in Siberia]. Novosibirsk: Izd-vo «GEO», 2010. 216 p. (in Russian).

Popov P.A. Ryby Subarktiki Zapadnoi Sibiri [Fish of the Subarctic of Western Siberia]. Novosibirsk: NGU, 2013. 206 p. (in Russian).

Popov P.A. Presnovodnye ryby arkticheskogo poberezh'ya Sibiri [Freshwater fish of the Arctic coast of Siberia] // Vestnik TGU. 2015. No. 4. P. 6–25. (in Russian).

Popov P.A. Migratsii presnovodnykh ryb Ob'-Irtyskoi ust'evoi oblasti [Migrations of freshwater fish of the Ob-Irtysh estuary region] // Vestnik SVFU. Yakutsk [NEFU Bulletin. Yakutsk], 2017. No. 4. P. 24–33. (in Russian).

Popov P.A., Vizer A.M. Sostav ikhtiotsenoza i ryboproduktivnost' Novosibirskogo vodokhranilishcha [The composition of the ichthyocenosis and fish productivity of the Novosibirsk reservoir] // Mnogoletnyaya dinamika vodno-ehkologicheskogo rezhima Novosibirskogo vodokhranilishcha [Long-term dynamics of the water-ecological regime of the Novosibirsk reservoir]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. P. 230–264. (in Russian).

Popov P.A., Voskoboynikov V.A., Yadrenkina E.N., Shchenev V.A. Ryby i rybolovstvo v ozere Chany [Fish and fishing in Lake Chany // Review of the ecological state of Lake Chany (Western Siberia)] // Obzor ehkologicheskogo sostoyaniya ozera Chany (Zapadnaya Sibir') [Overview of the ecological state of Lake Chany (Western Siberia)]. Novosibirsk: Akad. izd-vo

«GEO», 2015. P. 136–161. (in Russian).

Popov P.A., Trifonova O.V. Vliyanie zagryazneniya reki Tom' na sostoyanie ee ikhtiofauny [The influence of pollution of the Tom River on the state of its ichthyofauna] // Obskoi vestnik [Ob Bulletin]. 2002. No. 1–2. P. 23–33. (in Russian).

Reshetnikov Yu.S. O fazakh vseleniya novogo vida v presnovodnye ehkosistemy [About the phases of the introduction of a new species into freshwater ecosystems] // Uspekhi sovremennoi biologii [Successes of modern biology]. 2020. Vol. 140, no. 3. P. 294–305. (in Russian).

Reshetnikov Yu.S., Popova O.A., Kiyashko V.I. Obyknovennyi ersh *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758). Sistematika, morfologiya, obraz zhizni i rol' ersha v ehkosistemakh [Common ruff *Gymnocephalus cernuus* [Linnaeus, 1758]. Taxonomy, morphology, lifestyle and the role of the ruff in ecosystems]. M.: Tov. nauchnykh znaniy KMK, 2016. 279 p. (in Russian).

Romanov V.I. Ikhtiofauna plato Putorana [Ichthyofauna of the Putorana plateau] // Fauna pozvonochnykh zhivotnykh plato Putorana [Fauna of vertebrate animals of the Putorana plateau]. M., 2004. P. 29–89. (in Russian).

Romanov N.S., Tyul'panov M.A. Ikhtiofauna ozer poluostrova Taimyr [Ichthyofauna of the lakes of the Taimyr Peninsula] // Geografiya ozer Taimyra [Geography of Taimyr lakes]. L., 1985. P. 139–181. (in Russian).

Savvaitova K.A., Pichugin M.Yu., Maksimov V. Izmenenie sostava ikhtiofauny vodoemov Norilo-Pyasinskoi vodnoi sistemy v uslo-viyakh intensivnogo antropogennogo vozdeistviya [Changes in the composition of the ichthyofauna of reservoirs of the Norilo-Pyasinsk water system under conditions of intense anthropogenic impact] // Vopr. Ikhtiologii [Vopr. Ichthyology]. 1994. Vol. 34, no. 4. P. 566–569. (in Russian).

Safronov S.N., Nikiforov S.N. Spisok ryboobraznykh i ryb presnykh i solonovatykh vod Sakhalina [List of fish - like and fresh and brackish waters of Sakhalin] // Vopr. Ikhtiologii [Vopr. Ichthyology]. 2003. Vol. 43, no. 1. P. 42–53. (in Russian).

Selyukov A.G. Morfofunktsional'nyi status ryb Ob'-Irtyskogo basseina v sovremennykh usloviyakh [Morphofunctional status of fish of the Ob-Irtys basin in modern conditions]. Tyumen': Izd-vo Tyumen'sk. gos. un-ta, 2007. 184 p. (in Russian).

Semenov D.Yu. Bioekologicheskaya kharakteristika obyknovennogo ersha *Gymnocephalus cernuus* [Linnaeus, 1758] Kuibyshevskogo vodokhranilishcha [Bioecological characteristics of the common ruff *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758) of the Kuibyshev reservoir] // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo [Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky]. 2010. No. 3 (1). P. 117–125. (in Russian).

Sidelev G.N. Ikhtiofauna krupnykh ozer [Ichthyofauna of large lakes] // Oзера Severo-Zapada Sibirskoi platform [Lakes of the Northwest of the Siberian Platform]. Novosibirsk, 1981. P. 151–171. (in Russian).

Slepokurov V.A., Andrienko E.K. K raspredeleniyu i chislennosti ersha v Obskoj i Tazovskoj gubah [Distribution and abundance of ruff in the Gulf of Ob and the Taz Bay] // Resursy zhi-

votnogo mira Sibiri: ryby [Wildlife resources of Siberia: fish]. Novosibirsk, 1990. P. 51–53. (in Russian).

Struktura bioty vodnykh ehkositsem [Structure of the biota of aquatic ecosystems]. Novosibirsk: Nauka, 2006. 256 p. (in Russian).

Tyaptirgyanov M.M. Izmenenie rybnogo naseleniya presnovodnykh vodoemov Yakutii v usloviyakh antropogennogo zagryazneniya [Changes in the fish population of freshwater reservoirs of Yakutia in conditions of anthropogenic pollution]. M.: «POLIGRAF-PLYUS», 2016. 308 p.

Tyaptirgyanov M.M. Obyknovennyi ersh *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758) v usloviyakh Yakutii // Vestnik SVFU [NEFU Bulletin]. 2020. No. 1 (75). P. 27–39. (in Russian).

Chereshnev I.A. Presnovodnye ryby Severo-Vostoka Azii: Fauna, sistematika, istoriya rasseleniya [Freshwater fish of Northeast Asia: Fauna, taxonomy, history of settlement]. Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. Vladivostok, 1992. 75 p. (in Russian).

Ekologiya ryb Ob'-Irtyskского бассейна [Ecology of fish of the Ob-Irtysh basin]. M.: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2006. 596 p. (in Russian).

Yur'ev A.L., Khludnev G.B., Matveev A.N., Samusenok V.P. Biologiya ryb srednego tekheniya reki Kirengi [Biology of fish of the middle course of the Kirenga River] // Izvestiya IRGoSU. Seriya «Biologiya. Ehkologiya» [News of Irkutsk State University. The series “Biology. Ecology”]. 2022. Vol. 41. P. 45–65. (in Russian).

Yur'ev A.L., Yur'ev I.I. Biologicheskaya kharakteristika okunevykh ryb srednego tekheniya r. Nizhnei Tunguski [Biological characteristics of perch fish of the middle reaches of the Lower Tunguska River] // Izvestiya IRGoSU. Seriya «Biologiya. Ehkologiya» [News of Irkutsk State University. The series “Biology. Ecology”]. 2010. Vol. 3, no. 2. P. 54–64. (in Russian).

Dennis M. Pratt the ruffe: Impacts in Lake Superior and predicted fate of the lower great Lakes // Nat. Meet. Amer. Assoc. Adv. Sci. Washington, 1992. P.121–122.

Edsall Th., Selgeby J., DeSorcie Tim., French J. Growth-temperature relation for young-of-the-year ruffe Thomas // J. Great. Lakes Res. 1993. Vol. 19, no. 3. P. 630–633.

Hayden B., Harrod Ch., Sonninen E., Kahilainen K. Seasonal depletion of resources intensifies trophic interactions in subarctic freshwater fish communities // Freshwater Biol. 2015. Vol. 60, no. 5. P 1000–1015. doi: 10.1111/fw.b.12564

Hutchings J.A. Unintentional selection, unanticipated insights: Introductions, stocking and the evolutionary ecology of fishes // J. Fish Biol. 2014. Vol. 85, no. 6. P 1907–1926. doi: 10.1111/jfb.12545

Mikheev V.N., Pavlov D.S. Spatial distribution and movement of young fishes in relation to food availability in a reservoir on the Rositsa River // Pol. arch. hydrobiol. 1993. Vol. 40, no. 1. P 31–45.

Kubecka J. Night inshore migration and capture of adult fish by shore seining // Aquacult. and Fish. Manag. 1993. Vol. 24, no. 5. P 685–689.

TO THE ECOLOGY OF THE COMMON RUFF FROM THE RESERVOIRS OF SIBERIA

P.A. Popov

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Novosibirsk, E-mail: popov@iwep.nsc.ru

*In the reservoirs (rivers, lakes and reservoirs) of Siberia from the perch family (Percidae) there are two native species: the common ruff *Gymnocephalus cernuus* and the river perch *Perca fluviatilis*, as well as the locally widespread acclimatizant species – the common walleye *Sander lucioperca*. In those reservoirs in which the ruff is relatively numerous, it plays a significant role in the formation of the structure and functioning of ichthyocenoses, competing with other fish species on the basis of nutrition and reproduction. In scientific and applied terms, this species is of interest as an indicator of the ecological state of the reservoir, preferring to settle in rivers, lakes and tributaries of reservoirs of the oligo-mesotrophic type, avoiding lakes with increased mineralization and high content of organic compounds. The ruff, like the perch, is an intermediate host of the *Diphyllobothrium latum*, which is dangerous for humans, and, like other fish, is able to accumulate heavy metals and radionuclides in organs and tissues. In some reservoirs of Siberia, the ruff is not only an object of amateur, but also commercial fishing.*

Keywords: reservoirs of Siberia; Siberian fish; perch family; common ruff; ecology of ruff.

Received July 24, 2023. Accepted: August 12, 2023

Сведения об авторе

Попов Петр Алексеевич – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН (Новосибирский филиал). Россия, 630090, г. Новосибирск, Морской пр-т, 2. E-mail: popov@iwep.nsc.ru.

Information about the author

Popov Petr A. – Dr. Sci. (Biol.), Professor, Leading Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS) (Novosibirsk Branch). 2, Morskoy Pr., 630090, Novosibirsk, Russia. E-mail: popov@iwep.nsc.ru.

ХРОНИКА СОБЫТИЙ ♦ CHRONICLE OF EVENTS

ДЕЛО ГЕОЛОГОВ

А.В. Носкова

Государственный архив Алтайского края, Барнаул

E-mail: oipd_gaak@mail.ru

В статье дается краткий обзор материалов новой документальной выставки Государственного архива Алтайского края, посвященной трагическим судьбам ученых, геологов, специалистов геологической отрасли, а также истории развития геологии в Алтайском крае. Автор рассказывает о жизни ученых-геологов, внесших большой вклад в создание минерально-сырьевой базы страны: А.А. Иностранцеве, Н.И. Кокишарове, М.Ф. Розене, А.М. Малолетко, В.М. Чекалине.

Ключевые слова: документальная выставка; Государственный архив Алтайского края; геолог; мемориальная комната; М.Ф. Розен; А.М. Малолетко; В.М. Чекалин; репрессии; репрессированные геологи.

DOI:10.24412/2410-1192-2023-17107

Дата поступления: 3.11.2023. Принята к печати: 27.11.2023

Ровно 57 лет назад Указом Накануне Всероссийского Дня Президиума Верховного Совета СССР памяти жертв политических репрессий от 31 марта 1966 г. в ознаменование в Государственном архиве Алтайского края состоялось открытие выставки заслуг советских геологов в создании края состоялось открытие выставки минерально-сырьевой базы страны был «Дело геологов», посвященной судьбам учрежден профессиональный праздник осужденных по политическим мотивам специалистов, связанных с геологическими специалистов геологической отрасли, а науками и специальностями – День геолога. также истории развития геологии в крае. Сегодня работа геолога считается одной из Впервые вниманию посетителей интересных, романтических и непростых. экспозиции были представлены Тем не менее, востребованность в малоизвестные документы о жизни специалистах геологической отрасли ученых-геологов Алтая, картографические в нашей стране постоянно возрастает. и фотоматериалы, газеты, издания и Труд геологов является одним из публикации в периодической печати. важнейших этапов подготовки и изучения В соответствии с содержанием месторождений полезных ископаемых материалов экспозиции, выделено три для их дальнейшего промышленного тематических раздела: «Из истории освоения. Результат их работы – это геологических исследований Алтая», фундамент, который лежит в основе любого «Вопреки всему», «По страницам добывающего предприятия, позволяющий личных дел». Первый раздел «Из истории эффективно и рационально использовать геологических исследований Алтая» природные ресурсы. включает материалы начала XIX –

первой половины XX вв. и рассказывает о исследователях-геологах Алтая П. Чихачеве, Г. Щуровском, Н. Кокшарове, А. Иностранцеве, Д. Богданове и др. В этом разделе также представлены материалы о пребывании на Алтае «с целью геологических исследований» профессора Фрейбергской горной академии Карла Бернарда фон Котты. Документы свидетельствуют о том, что местными властями были предоставлены все возможности для научных изысканий ученого. Например, начальник Алтайских горных заводов отдал распоряжение о подготовке подробной карты Алтайского округа и «особенно тех частей, которые по своему геологическому устройству могут подлежать исследованиям». Кроме того, в распоряжение профессора были предоставлены отдельные «геогностические» карты изысканий прошлых лет и подробные планы, чертежи действующих рудников и рудных месторождений, «которые бы могли служить пояснением характера Алтайских рудных месторождений и способов их разведки и разработки», подобраны коллекции руд, горнокаменных пород и окаменелостей из всех мест Алтая и др. [1]. Результатом экспедиции Карла Бернарда фон Котты явилось исследование «Отчет об Алтае» и разработанный им «Проект инструкции для геологических исследований в Алтайском округе», копии которых сохранились в фонде известных исследователей С.И. и Н.С. Гуляевых [2].

Материалы исполнительных комитетов и планово-экономических органов рассказывают о становлении и

развитии геологической отрасли региона в советское время. Среди документов – протоколы технических совещаний, отчеты, планы геологоразведочных работ, справки, обзоры Западно-Сибирского геологического управления и др. Особого внимания заслуживают фотографии месторождений полезных ископаемых, приложенные к информационной записке главного инженера Западно-Сибирского отделения «Союзметразведки» о состоянии изученности минерально-сырьевой базы Алтайского края (1934).



Калгутинское месторождение.
Пробная промывка горной массы на бутаре в
районе р. Калгутты. 1938 г. [3]



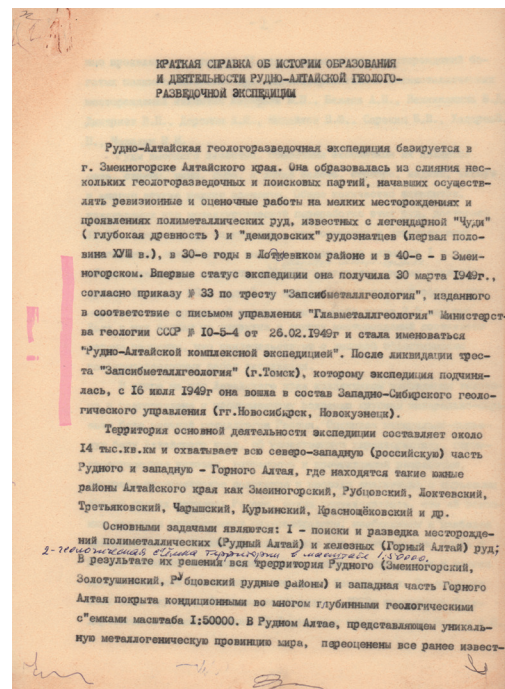
Бащелакское месторождение.
Разбурка россыпей буром «Эмпайр». 1938 г. [4]

В раздел «Вопреки всему» вошли документы о жизни и научной работе ученых-геологов, семьи которых пострадали от репрессий. Значительное место в экспозиции отведено материалам о известном геологе М.Ф. Розене, который многие годы своей жизни на Алтае посвятил поискам месторождений золота. В этой части экспозиции демонстрируются документы по истории открытия Синюхинского золоторудного месторождения: справки, отчет по поисково-разведочным работам Алтайской партии за 1950–1957 гг. с дарственной надписью М.Ф. Розену от одного из авторов – С.С. Николаева, протоколы заседаний первооткрывательской комиссии, фотографии и др. [5].

Здесь же экспонируются документы доктора географических наук, профессора Томского и Алтайского государственных университетов А.М. Малолетко. Среди них – полевой дневник и характеристика геолога С.А. Ростовцева на А.М. Малолетко, автобиография. Эти документы свидетельствуют о работе ученого в должности главного инженера Салаирской геолого-разведочной экспедиции Западно-Сибирского геологического управления (1951–1965 гг.) [6].

Впервые представлены материалы личного фонда заслуженного геолога Российской Федерации В.М. Чекалина. Сохранившиеся справки, тексты докладов, фотографии на сегодняшний день являются важными источниками для изучения истории Рудно-Алтайской геологоразведочной экспедиции.

Завершается выставка разделом «По страницам личных дел». Материалы архивно-следственных дел рассказывают о трагических судьбах топографов, вычислителей, рабочих полевых партий, хозяйственных руководителей геологических учреждений, учащихся геологоразведочного техникума.



Из краткой справки о истории образования и деятельности Рудно-Алтайской геологоразведочной экспедиции, подготовленная В.М. Чекалиным. Июль 1994 г. [7]



Сотрудники Рудно-Алтайской геологоразведочной экспедиции. Третий слева В.М. Чекалин. Б.д. [8]

Например, о буровом мастере Г.И. Лизунове и счетоводе геолого-разведывательной Колыванской партии П.А. Михайловском [9], студента геологоразведочного техникума С.Д. Любимов [10], рабочем Спасских приисков Р.И. Нагорнове [11], буровом мастере Сулюктинской геолого-разведочной партии (Киргизская ССР) А.Е. Бердюгине [12, 13].



Удостоверение треста Средазуглеразведки Сулюктинской геолого-разведочной партии Министерства угольной промышленности Восточных районов СССР на имя А.Е. Бердюгина. 1949 г. [14]

На выставке «Дело геологов» представлено более 80 документов из фондов Канцелярии Колывано-Воскресенского горного начальства, Главного управления Алтайского округа, Главного планово-экономического управления, личных фондов. Здесь же демонстрируются карты, схемы месторождений полезных ископаемых. Так, представлены одна из первых геологических карт Алтая (1804), геологическая карта района поисков и разведок на золото (1897) и др. Публикации в газетах «Алтайская правда», «Свободный курс» рассказывают о разведочных работах геологических партий Алтайского края по поиску цветных металлов, полиметаллических руд, запасов нефти, поваренной соли. Документы экспозиции позволяют сформировать картину исторического развития геологической отрасли региона и сохранить память о ученых-геологах, работавших на благо и процветание Алтайского края.

Список литературы

1. Государственный архив Алтайского края (ГAAK). Ф. 2. Оп. 1. Д. 2965. Л. 1–2.
2. ГAAK. Ф. 163. Оп. 1. Д. 73. Л. 1–26.
3. ГAAK. Ф.Р-1033. Оп. 4. Д. 34. Л. 80.
4. ГAAK. Ф.Р-1033. Оп. 4. Д. 34. Л. 35.
5. ГAAK. Ф.Р-1601. Оп. 1. Д. 5. Л. 23 (9.1); Д. 13.
6. ГAAK. Ф.Р-1750. Необработанные материалы.
7. ГAAK. Ф.Р-1917. Необработанные материалы.
8. ГAAK. Ф.Р-1917. Необработанные материалы.
9. ГAAK. Ф.Р-2000. Оп. 7. Д. 4651/24.
10. ГAAK. Ф.Р-2000. Оп. 7. Д. 4461.
11. ГAAK. Ф.Р-2000. Оп. 7. Д. 18532.
12. ГAAK. Ф.Р-2000. Оп. 7. Д. 17453.
13. ГAAK. Ф.Р-2000. Оп. 7. Д. 13540.
14. ГAAK. Ф.Р-2000. Оп. 7. Д. 13540/1. Л. 29 (16–17).

THE CASE OF GEOLOISTS

A.V. Noskova

State Altai regional archive, Barnaul

E-mail: oipd_gaak@mail.ru

The article tells us about a new exhibition of documents from the State Altai regional archive devoted to fates of specialists of geology convicted for political reasons and to the history of development of geology in the region. The author gives information about scientists of geology, who made a great contribution to the foundation of raw material supply of the country: A.A. Inostrantsev, N.I. Koshkarev, M.F. Rozen, A.M. Maloletko, V.M. Chekalin.

Keywords: exhibition of documents; State Altai Regional Archive; geologist; Memorial room; M.F. Rozen; A.M. Maloletko; V.M. Chekalin; repression; geologists subjected to repression.

Received November 3, 2023. Accepted: November 27, 2023

Сведения об авторе

Носкова Анастасия Викторовна – ведущий археограф отдела использования и публикации документов Краевого государственного учреждения «Государственный Алтайский краевой архив». Россия, 656043, г. Барнаул, ул. Анатолия, д.72. E-mail: oipd_gaak@mail.ru.

Information about authors

Noskova Anastasiya Victorovna – leading archiographer of the Department for Use and Publication of Documents Regional state public institution «State Altai regional archive». Russia, 656043, Barnaul, Anatoliya Street 72. E-mail: oipd_gaak@mail.ru.

Журнал
Известия Алтайского отделения
Русского географического общества

№ 4 (71) 2023

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 20.12.2023. Дата выхода в свет 25.12.2023.

Формат 60x84 1/8. Печать – цифровая. П.л. 12.75

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+