

Раздел 2

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 2

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 556.114: 556.531

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В ВОДАХ МАЛЫХ РЕК
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ
МЕТОДОМ С СУЛЬФОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ**

С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская, А.В. Пузанов, М.П. Пеленева, И.А. Трошкова,
С.Н. Балыкин, Д.Н. Балыкин, А.В. Салтыков

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

*E-mail: arsenida@rambler.ru, rtamara@iwer.ru, puzanov@iwer.ru, kuroi_t@mail.ru, egorka_iren@mail.ru,
balykins@rambler.ru, balykindn@yandex.ru, saltykov@iwer.ru*

Исследовано общее содержание железа в водах притоков озера Телецкое в период весенне-летнего половодья 2022 года. Определение выполнено быстрым, точным и доступным сульфосалицилатным фотометрическим методом. По результатам исследования, наиболее высокое содержание железа обнаружено в водах ручья Чеченек (310 мкг/л), испытывающем антропогенное воздействие со стороны поселка Яйлю. Минимальным содержанием железа отличаются реки с преимущественно природным фактором формирования химического состава вод: Камга и Кыга. Установлено, что в водах западных притоков озера Телецкое содержание железа (90–140 мкг/л, в среднем 120 ± 10 мкг/л, $C_v = 15\%$) заметно ниже, чем в водах восточных притоков (105–205 мкг/л, в среднем 155 ± 15 мкг/л), что в целом согласуется с результатами наших предыдущих исследований летом 2016 года и объясняется меньшей аккумулярующей способностью почв восточного берега озера, по сравнению с почвами западного берега. В хорошо сформированных зрелых горно-лесных бурых и таежных дерновых почвах, дренируемых западными притоками, содержание железа достоверно выше (2.6–4.24%, в среднем $3.71 \pm 0.29\%$), но оно здесь прочнее связано с органическим веществом и минеральными компонентами почвы. Слабощелочная реакция среды (рН вод западных притоков изменяется от 8.2 до 8.8) существенно снижает подвижность железа, потому его содержание в водах западных притоков ниже. Верхние горизонты каменистых маломощных почв восточных притоков менее насыщены железом (1.77–3.75%, в среднем $2.58 \pm 0.35\%$), но и

слабее удерживают его, здесь железо в водах с нейтральной реакцией среды (pH=7.2 – 7.7) более активно вовлекается в водную миграцию.

Ключевые слова: вода; озеро Телецкое; железо; фотометрический метод с сульфосалициловой кислотой; горно-лесные бурые почвы; водосборные бассейны; водная миграция.

DOI: 10.24412/2410-1192-2022-16602

Дата поступления: 5.09.2022

Присутствие железа в природных водах связано с его широким распространением в земной коре – по распространности в ней железо занимает четвертое место. Кларк железа в гранитном слое земной коры составляет 3.6% [Добровольский, 1998]. Часто в природе железо является типоморфным химическим элементом, т.к. его нахождение в двух или трехвалентной форме определяет характерные и существенные особенности почв, формирует облик ландшафта. Содержание железа в водах рек связано с региональными, климатическими, ландшафтными и гидрологическими особенностями водосборов. В России, согласно СанПиН 1.2.3685-21, предел допустимой концентрации железа в водах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения установлен на уровне 300 мкг/л, для вод рыбохозяйственных водоемов – 100 мкг/л. Концентрация железа в речных водах мира составляет по разным оценкам в среднем от 66 мкг/л [Gaillardet et al., 2014] до 670 мкг/л [Добровольский, 1998].

Цель настоящего исследования – изучить содержание железа в водах притоков озера Телецкое в связи с биогеохимическими свойствами их водосборных бассейнов.

Задачи исследования:

1. Определить возможность использования простого и доступного фотометрического метода для определения концентраций железа в природных поверхностных водах Северо-Восточного Алтая, сравнить полученные данные с результатами, полученными ранее другими методами.

2. Дать эколого-биогеохимическую оценку содержанию железа в водах притоков озера Телецкое.

3. Установить особенности пространственного распределения содержания железа в связи с биогеохимическими и ландшафтно-геологическими свойствами водосборных бассейнов.

Материалы и методы

Озеро Телецкое – крупнейший водоем Алтая, одно из самых глубоких озер России, находится в Северо-

Восточной Алтайской горной провинции на высоте 434 м над ур. м. С 1998 г. озеро Телецкое является объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Водосборный бассейн озера оказывает существенное влияние на гидрологию и гидрохимию воды [Пузанов и др., 2022] – отношение площади водного зеркала к площади водосбора равно 1:90 (например, для Байкала это соотношение составляет всего 1:17) [Селегей и Селегей, 1978].

В ландшафтной структуре бассейна Телецкого озера в целом преобладают лесные сообщества, залесенность бассейна озера увеличивается с юга на север [Селегей, Селегей, 1978]. На севере

преобладают кедрово-пихтовые леса с примесью сосны, а на юге – кедрово-лиственничные. На территории бассейнов некоторых притоков Телецкого озера встречаются обширные заболоченные участки.

Почвенный покров бассейна озера характеризуется четкой вертикальной зональностью и широтной поясностью, присущей горным областям. Восточные склоны меридиональной части Телецкого озера преимущественно представлены экзарационно-денудационные ландшафтами с каменистыми примитивными горно-лесными, горно-тундровыми и горно-луговыми почвами.

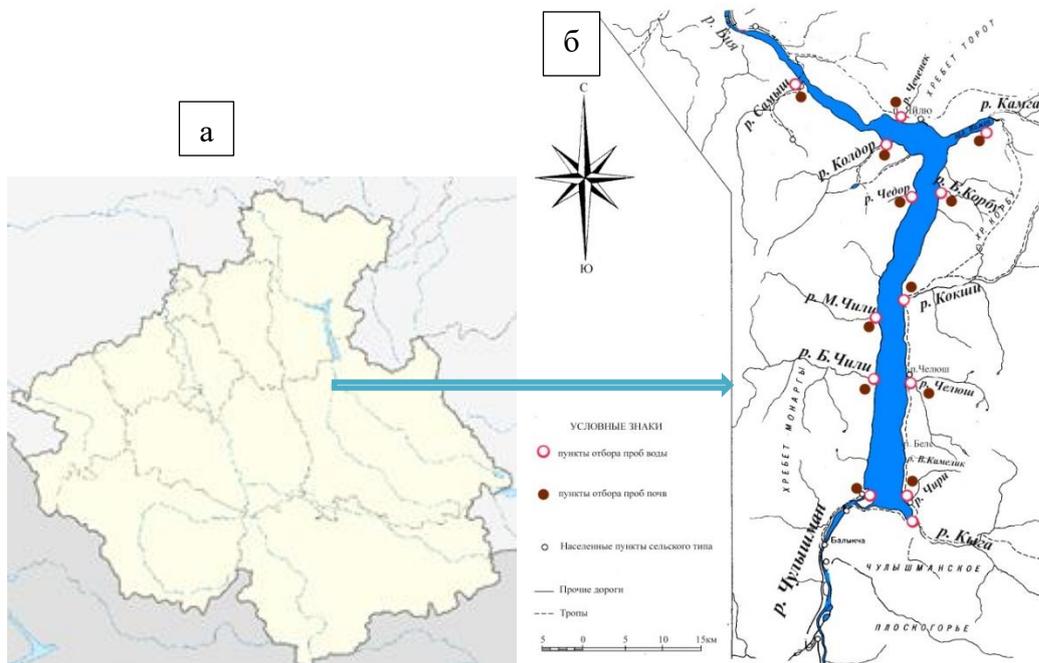


Рис. 1. Объект исследования – озеро Телецкое: а – месторасположение на карте Республики Алтай; б – с притоками и точками отбора проб

Fig.1. The object of researcher – Lake Teletskoye: a – location on the map of the Republic of Altai; b – with tributaries and sampling points

На западных берегах в большей степени представлены кедрово-таежные лесные сообщества с горно-лесными бурыми, дерново-подзолистыми и серыми, лесными почвами на мощных и переработанных осадочных породах.

Методика измерений массовой концентрации общего железа в водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой по ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 считается быстрой и надежной для количественного определения общего железа в воде. Ее преимуществом является высокая скорость выполнения анализа, достаточная точность и доступность. Используемые приборы и реактивы относительно недороги, безопасны и имеют длительный срок хранения [Малько и др., 2018]. Сульфосалицилатный метод можно применять для определения железа в присутствии фосфатов, хлоридов, фторидов, т.к. существенного влияния концентраций хлорид-ионов до 700 мг/дм³ на результаты определяемых содержаний ионов железа в диапазоне от 0.15 до 1.0 мг/дм³ не выявлено, хотя Al³⁺, Cu²⁺, Pb²⁺, также образующие комплексные соединения с сульфосалициловой кислотой, могут мешать определению железа. Минимальная определяемая концентрация железа общего в соответствии с данной методикой составляет 40 мкг/л [Трубачева и др., 2009].

Содержание железа (Fe²⁺ и Fe³⁺) в пробах природных поверхностных вод бассейна озера Телецкое определяли фотометрическим методом на спектрофотометре ПЭ-5400 ВИ, согласно ПНД Ф 14.1:2:4.50-96. Метод основан на образовании комплексного соединения железа с сульфосалициловой кислотой, имеющего в щелочной среде (pH 8–9) желтую окраску. В ходе проведения анализа двухвалентные формы железа сначала окислялись до Fe³⁺ концентрированной соляной кислотой, с последующим упариванием раствора до 1/3 объема, после чего проводилось спектрофотометрическое определение окрашенных в желтый цвет комплексов железа и сульфосалициловой кислоты. В этом случае происходит количественное определение так называемого железа общего (Fe²⁺ и Fe³⁺). Максимум светопоглощения образующихся комплексов в интервале pH=8–11.5 лежит в области 400–430 нм. Оптическую плотность растворов измеряли при длине волны $\lambda=425$ нм, содержание железа в пробах находили по градуировочному графику, все точки которого укладывались на прямую линейной аппроксимации, величина достоверности $R^2 = 0.98$.

При проведении анализа без предварительного упаривания самой пробы одному делению прибора соответствовала концентрация 20 мкгFe/л. Чтобы

повысить точность получаемых результатов, необходимо было уменьшить интервал концентрации, соответствующий шагу шкалы прибора. Для этого пробу предварительно упаривали в 4 раза, после чего снова проводили определение согласно методике, умножив полученный результат на 4; диапазон изменения концентрации железа между двумя делениями на шкале прибора теперь составлял 5 мкгFe/л. Анализ повторяли в двух повторностях, ошибка определения не превышала 10%.

Уровень pH вод определяли потенциометрически.

Определение 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

Результаты определения общего содержания железа в водах притоков озера Телецкое (мкг/л) и в горно-лесных бурых почвах (в верхнем горизонте) их водосборных бассейнов (%), а также уровень pH исследованных вод представлены в таблице; слева в таблице – реки западного берега озера, справа – восточного.

Таблица

Уровень pH и содержание общего железа в водах притоков озера Телецкое и в верхних горизонтах горно-лесных бурых почв их водосборных бассейнов в период весенне-летнего половодья 2022 г.

Table

Some chemical properties and total Fe content in the tributaries waters of Lake Teletskoye and in the upper horizons of mountain-forest brown soils of their catchments during the spring-summer high water in 2022

Притоки западные	Вода		Почва Fe, %	Притоки восточные	Вода		Почва Fe, %
	мкгFe/л	pH			мкгFe/л	pH	
Колдор	125	8.6	4.24	Камга	115	7.9	2.44
Самыш	90	8.5	2.6	Корбу	190	7.2	3.75
Чедор	140	8.5	3.76	Кокши	205	7.8	3.59
Б.Чили	130	8.5	3.98	Челюш	170	7.6	2.03
М.Чили	125	8.1	3.95	Чири	155	7.7	1.77
Чульшман	130	8.0	3.37	Кыга	105	8.7	1.9

Содержание общего железа в водах малых рек бассейна озера Телецкое в период весенне-летнего половодья 2022 года изменялось от 90 до 205 мкг/л. Эти значения не превышают приведенную Добровольским В.В. (1998) среднюю величину содержания железа в речных водах, но выше среднемировых величин, приводимых зарубежными специалистами [Gaillardet et al., 2014]. Сравнивая полученные значения с литературными данными, отметим, что в водах притоков озера Телецкое содержание железа заметно ниже, чем, например, в водах р. Обь в районе г. Барнаула – так, в 2018 году концентрация только растворенных форм железа (определенного методом ICP MS) изменялась от 26 до 144 мкг/л, в среднем составляя 96 мкг/л, причем, по данным авторов, это составляло в среднем только 10% от общего содержания железа в водах р. Обь [Эйрих и др., 2018]. По результатам другого исследования, содержание железа в р. Оби в районе г. Барнаула изменялось от 3.4 до 246 мкг/л, увеличиваясь в зимний и весенний периоды [Эйрих и др., 2022].

Среди изученных нами притоков озера Телецкое наиболее высоким содержанием железа в воде отличался ручей Чеченек (310 мкг/л), протекающий в черте поселка Яйлю и испытывающий антропогенное воздействие со стороны населенного пункта. Сравнительно

низкое содержание железа обнаружено в реках с преимущественным влиянием природного фактора на водосбор – р. Камга и р. Кыга (см. табл.). Как ни странно, минимальным содержанием железа летом 2022 года отличался Самыш – всего 90 мкг/л, несмотря на наличие антропогенных факторов, влияющих на экологическую обстановку в его бассейне и способствующих поступлению загрязнителей в гидрографическую сеть: известно, что в водосборном бассейне р. Самыш проводятся вырубки леса. Кроме того, в долине реки Самыш есть золотосное (ныне законсервированное) месторождение Калычак.

Для сравнения, в малых реках горнолесных бассейнов Сихоте-Алиня содержание железа изменяется от 9.7 до 343 мкг/л, причем в водах рек и ручьев, в водосборных бассейнах которых доминируют хвойные леса и хорошо выражен верхний климатический пояс, содержание железа не превышает 127 мкг/л (средние изменяются от 25 мкг/л до 39.6 мкг/л), тогда как в водах притока с более однородной ландшафтной структурой водосбора, с вторичными лесами на обогащенных органическим веществом почвах содержание железа выше и достигает 343 мкг/л, в среднем составляя 76 мкг/л [Кожевникова и др., 2022].

Установлено, что в водах восточных притоков озера Телецкое содержание

железа в среднем составляет 155 ± 15 мкг/л ($C_v=26\%$), и достоверно выше, чем среднее содержание железа в водах рек западных притоков – 120 ± 10 мкг/л ($C_v=15\%$). Наибольшая концентрация железа отмечена в водах восточных притоков меридиональной части озера – реках Корбу, Кокши, Челюш. 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, что в 2016 году, когда определение содержания железа в водах притоков озера Телецкое проводилось методом ISP-MS в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН, наиболее высоким из всех изученных притоков содержанием железа также отличались

реки Кокши (240 мкг/л), Корбу (220 мкг/л) и Челюш (210 мкг/л). Воды западных притоков – рек Б. и М. Чили содержали 190 и 160 мкг/л железа соответственно. В водах р. Камга с практически полным отсутствием антропогенного воздействия в бассейне реки, в 2016 г. содержалось всего 38 мкг/л железа. Воды реки Чулышман летом 2016 года содержали 94 мкг/л железа, а в 2022 г. концентрация железа в воде р. Чулышман составила 130 мкг/л.

При рассмотрении отдельно характеристики водосборов восточного и западного берегов озера, прослеживается прямая зависимость средней силы ($r=+0.7$ и $r=+0.76$) между содержанием железа в горно-лесных почвах и содержанием железа в поверхностных водах (рис. 2).

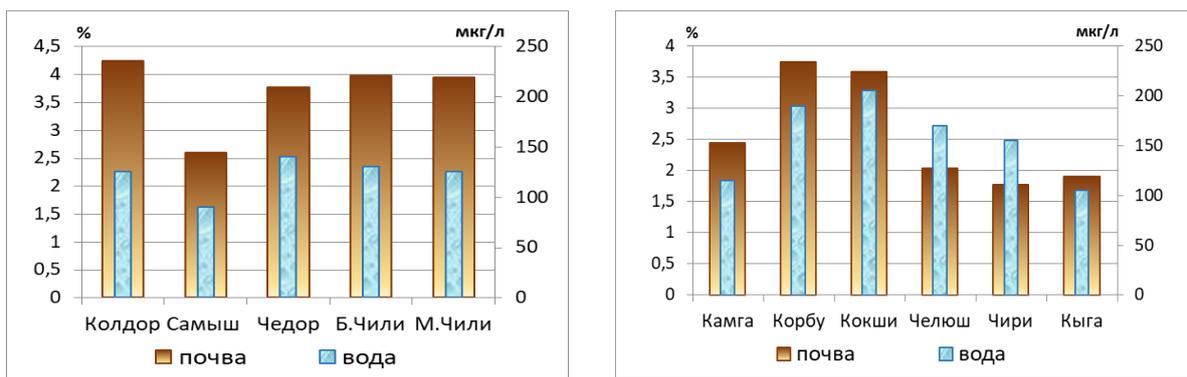


Рис. 2. Содержание железа в водах (мкг/л) и в верхних горизонтах горно-лесных бурых почв (%) водосборных бассейнов западных (а) и восточных (б) притоков озера Телецкое

Fig. 2. Iron content in the waters ($\mu\text{g/l}$) and in the upper horizons of mountain-forest brown soils (%) of the catchment basins of the western (a) and eastern (b) tributaries of Lake Teletskoye

В целом по бассейну озера Телецкое содержание железа в водах не коррелирует с содержанием железа в горно-лесных бурых почвах: в водах восточных притоков содержание железа выше, чем в водах западных притоков, тогда как в почвах – наоборот: более насыщены железом хорошо сформированные горно-лесные бурые почвы западного берега, чем каменистые примитивные горно-лесные маломощные почвы восточного берега озера, формирующиеся на гранитных массивах (р. Корбу, Кокши). В силу большей буферной способности горно-лесных бурых почв водосборов западных притоков озера, железо более прочно фиксируется в них (в составе почвенных микроагрегатов, нерастворимых комплексов с органическим веществом) и в меньшей степени подвержено миграции и поступлению в речную сеть. Подобный вывод был сделан нами и ранее, на основании наших исследований химического состава почвенных вытяжек почв бассейна Телецкого озера [Пузанов и др., 2022].

Необходимо также отметить, что в восточных притоках меридиональной части озера рН вод изменяется от 7.2 (в р. Корбу) до 7.8 (в р. Кокши), тогда как в реках западного берега озера реакция среды преимущественно слабощелочная, уровень рН вод варьирует от 8.0 (Чулышман) до 8.6 (р. Колдор) (см.

табл.). Известно, что железо, являясь катионогенным элементом, в щелочной среде малоподвижно, что объясняет сравнительно меньшее его содержание в водах с более высоким уровнем рН западных притоков, по сравнению с водами восточных притоков, в которых реакция среды нейтральна или сдвинута в сторону слабокислой (р. Корбу).

Выводы

1. Содержание общего железа в малых реках – притоках озера Телецкое в период весенне-летнего половодья 2022 г., определенного сульфосалицилатным фотометрическим методом, изменялся от 90 до 205 мкг/л. Предварительное упаривание пробы позволяет уменьшить интервал концентрации, соответствующий шагу шкалы прибора. Диапазон концентраций железа, полученный данным методом, находится в пределах величин содержаний железа в водах этих рек, измеренных ранее методом ISP-MS.

2. Невысоким содержанием железа отличаются воды рек Камга и Кыга, бассейны которых в меньшей степени подвержены антропогенной нагрузке.

3. Показано, что в водах рек противоположных берегов озера, дренирующих водосборы с различными геохимическими, литологическими, ландшафтными и почвенно-биогеохимическими свойствами, содержание железа

заметно различается. В ландшафтах восточного берега озера, где преобладают крутые склоны с литогенными маломощными почвенными образованиями на гранитных массивах, содержание железа в почвах невысокое, но оно более подвижно из-за низкой аккумулирующей способности почв. Поэтому содержание

Fe в водах восточных притоков с нейтральной pH-средой выше, чем в слабощелочных водах западных притоков, почвенный покров бассейнов которых представлен более мощными, хорошо сформированными горно-лесными бурыми почвами преимущественно на осадочных отложениях.

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 № 0306-2021-0003 «Оценка эколого-биогеохимической обстановки в речных бассейнах Сибири в условиях изменения климата и антропогенного воздействия» (№ гос. регистрации 1021032424138-9).

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам ИЯФ СО РАН: инженеру-аналитику Колмогорову Ю.П. и Дарьиной Ф.А.

Список литературы

Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, 1998. 413 с.

Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г., Луценко Т.Н., Шамов В.В., Еловский Е.В., Касуров Д.А. Микроэлементы в речных водах горно-лесных бассейнов (юг Дальнего Востока России) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333., № 6. С. 190–205.

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: Мат. Международной научно-практической конференции (19–23 сентября 2018 г., Керчь). Симферополь, 2018. С. 330–336.

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., 1996. 20 с.

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.

СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". 2021. 135 с.

Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро / Ред. В.А. Знаменский. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 142 с.

Трубачева Л.В., Лоханина С.Ю., Кошечева О.О. Исследование влияния хлорид- и сульфат-ионов при определении содержания ионов железа (III) и железа общего в питьевых и природных водах // Вестник Удмуртского университета. Серия Физика и химия. 2009. № 2. С. 47–54.

Эйрих А.Н., Серых Т.Г., Овчаренко Е.А., Подчуфарова Д.П., Котовщиков А.В. Сезонная динамика химического состава поверхностной воды р. Оби // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 96–102.

Эйрих А.Н., Серых Т.Г., Степанец В.Н., Папина Т.С. Микроэлементный состав воды реки Оби в районе города Барнаула // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2018. № 3 (50). С. 64–67.

Gaillardet J., Viers J., Dupré B. Trace elements in river waters. Treatise on Geochemistry. Oxford, Elsevier, 2014. P. 195–235.

References

Dobrovol'skiy V.V. Osnovy biogeoimii [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow: Vysshaya. Shkola Publ., 1998. 413 p. (In Russian).

Kozhevnikova N.K., Boldeskul A.G., Lutsenko T.N., Shamov V.V., Elovskiy E.V., Kasurov D.A. Mikroelementy v rechnyh vodah gorno-lesnyh bassejnov (yug Dal'nego Vostoka Rossii) [Microelements in river water of mountain-forest basins (southern Russian Far East)] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]. 2022. Vol. 333, no. 6. P. 190–205. (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 (Sept. 19–23, 2018) [In the collection: Biological diversity: study, conservation, restoration, rational use: Materials of the

International Scientific and Practical Conference (Sept. 19–23, 2018)]. Simferopl', 2018. P. 330–336. (In Russian).

PND F 14.1:2:4.50-96 Metodika izmerenij massovoj koncentracii obshchego zheleza v pit'evykh, poverhnostnykh i stochnykh vodah fotometricheskim metodom s sul'fosalicilovoj kislotoj [Method for measuring the mass concentration of total iron in drinking, surface and waste waters by the photometric method with sulfosalicylic acid]. Moscow, 1996. 20 p. (In Russian).

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 georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]. 2022. Vol. 333, no. 2. P. 111–122. (In Russian).

SanPiN 1.2.3685-21 "Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya" [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. 2021. 135 p. (In Russian).

Selegey V.V., Selegey T.S. Телецкое озеро. [Teleckoe Lake] / Ed. V.A. Znamenskij. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 142 p. (In Russian).

Trubacheva L.V., Lohanina S.YU., Koshcheeva O.O. Issledovanie vliyaniya hlorid- i sul'fat-ionov pri opredelenii sodержaniya ionov zheleza (III) i zheleza obshchego v pit'evykh i prirodnykh vodah [The influence of chloride and sulfate ions on the determination of ferric iron and total iron content in drinking and natural waters] // *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Fizika i himiya* [Bulletin of the Udmurt university. Physics and chemistry series]. 2009. no. 2. P. 47–54. (In Russian).

Eirih A.N., Serykh T.G., Ovcharenko E.A., Podchufarova D.P., Kotovschikov A.V. Sezonnaya dinamika химической состава поверхностной воды р. Оби [Chemical composition of the surface water in the Ob river] // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology]. 2022. no. 3. P. 96–102. (In Russian).

Eirih A.N., Serykh T.G., Stepanec V.N., Papina T.S. Mikroelementnyj sostav vody reki Obi v rajone goroda Barnaula [The trace element composition of water in the Ob river near Barnaul] // *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*

[Proceedings of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]. 2018. no. 3 (50). P. 64–67. (In Russian).

Gaillardet J., Viers J., Dupré B. Trace elements in river waters. Treatise on Geochemistry. Oxford, Elsevier, 2014. P. 195–235.

INVESTIGATION OF IRON CONTENT IN THE SMALL RIVERS WATERS OF THE NORTH-EASTERN ALTAI BY PHOTOMETRIC METHOD WITH SULFOSALICYLIC ACID

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

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

*E-mail: arsenida@rambler.ru, rtamara@iwep.ru, puzanov@iwep.ru, kuroi_t@mail.ru, egorka_iren@mail.ru,
balykins@rambler.ru, balykindn@yandex.ru, saltykov@iwep.ru*

The total Fe content in the tributary's waters of the Lake Teletskoye during the spring-summer flood of 2022 is studied. The determination is made by a fast, accurate and affordable sulfosalicylate photometric method. According to the results, the highest Fe content is found in the waters of the Chechenek stream (310 µg/l), which is experiencing anthropogenic impact from the Yailyu village. The rivers with a predominantly natural factor in the formation of the chemical composition of waters – Kamga and Kyga – have a low Fe concentration. It has been established that in the waters of the western tributaries of Lake Teletskoye, the iron content (90–140 µg/l, on average 120 ± 10 µg/l, $C_v=15\%$) is noticeably lower than in the waters of the eastern tributaries (105–205 µg/l, in 155 ± 15 µg/l on average), which is consistent with our previous results of studies in the summer of 2016 and is explained by the lower storage capacity of the soils of the eastern shore of the lake compared to the soils of the western shore. In well-formed mature mountain-forest brown soils drained by western tributaries, the iron content is significantly higher (2.6–4.24%, on average $3.71 \pm 0.29\%$), but here Fe is more strongly associated with soil organic matter and soil minerals. The slightly alkaline reaction of the environment (the pH of the waters of the western tributaries varies from 8.2 to 8.8) reduces the Fe mobility, and Fe concentration in the waters of the western tributaries is lower. The upper horizons of stony thin soils of eastern tributaries are less saturated with iron (1.77–3.75%, on average $2.58 \pm 0.35\%$), but it immobilizes Fe weaker. Iron is more actively involved to the water migration here, in water with neutral reaction (pH=7.2–7.7).

Keywords: water; Lake Teletskoye; iron; photometric method with sulfosalicylic acid; mountain-forest brown soils; drainage basins; water migration.

Received September 5, 2022

Сведения об авторах

Бабошкина Светлана Вадимовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: svetlana@iwep.ru.

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

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук профессор, директор Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Пеленева Мария Петровна – ведущий инженер Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: kuroi_t@mail.ru.

Трошкова Ирина Александровна – младший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: egorka_iren@mail.ru.

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

Балыкин Дмитрий Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: balykindn@yandex.ru.

Салтыков Алексей Владимирович – научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: saltykov@iwep.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. E-mail: svetlana@iwep.ru.

Rozhdestvenskaya Tamara Anatol'evna – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: rtamara@iwep.ru.

Puzanov Alexander Vasil`evich - Dr Sc. in Biology, Professor, Director of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: puzanov@iwep.ru.

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

Troshkova Irina Alexandrovna – Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: egorka_iren@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. E-mail: balykins@rambler.ru.

Balykin Dmitry Nikolaevich – PhD in in agricultural sciences, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: balykindn@yandex.ru.

Saltykov Alexey Vladimirovich – Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: saltykov@iwep.ru.