

Раздел 3

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 3

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 631.41: 550.47: 504.53: 556

## ЖЕЛЕЗО В ПОЧВЕННЫХ РАСТВОРАХ ГОРНО-ЛЕСНЫХ ПОЧВ БАССЕЙНА ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

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

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул*

*E-mail: arsenida@rambler.ru, rtamara@iwep.ru, puzanov@iwep.ru, egorka\_iren@mail.ru,  
kuroi\_t@mail.ru, balykins@rambler.ru*

*В центрифугированных почвенных растворах горно-лесных почв бассейна Телецкого озера исследовано содержание растворенного железа (Fe), а также уровень pH и общей минерализации. Концентрации Fe в отфильтрованных через мембранный фильтр почвенных растворах определяли спектрофотометрически с 2,2-дипиридиллом. Содержание Fe в изученных почвенных растворах, соответствующих капиллярной почвенной влаге, изменяется в пределах 390–2645 мкг/л, что согласуется с литературными данными. В горно-лесных 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). 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 соединений Fe в кислой среде, а также определяется гранулометрическим составом почв – чем он тяжелее, тем больше в почве мелких пор, содержащих более концентрированные почвенные воды. Обнаружена сильная обратная зависимость ( $r=-0.76$ ) уровня общей минерализации почвенных растворов и общей порозности горно-лесных почв бассейна озера Телецкое – чем более рыхлая и пористая почва, тем менее минерализован ее почвенный раствор.*

*Ключевые слова:* почвенные растворы; капиллярные воды; центрифугирование; Fe; спектрофотометрия; общая минерализация; pH вод; горно-лесные почвы; Телецкое озеро.

*DOI:10.24412/2410-1192-2023-17105*

*Дата поступления: 9.08.2023. Принята к печати: 30.08.2023*

Почвенные воды играют важную роль в жизни растений, связывая их с твердой фазой почв и снабжая питательными элементами, так и в почвенных процессах, обеспечивая миграцию веществ по профилю почвы [Орлов, 1985; Малинина и др., 2007; Попов, 2020]. Химия почвенных вод и почвенных растворов является ключом к пониманию педогенеза и многих экологических свойств почвы.

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 поч-вы 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 ( $\varepsilon$ ), ее, в свою очередь, вычисляли по соотношению плотности сложения ( $\rho_b$ ) и плотности твердой фазы ( $\rho_s$ ), по формуле  $\varepsilon = (1 - \rho_b / \rho_s) * 100\%$ . Плотность сложения определяли в ненарушенном образце почвы методом режущего кольца, плотность твердой фазы – пикнометрически.

Гранулометрический состав почв определяли пипеточным методом по Качинскому [Агрехимические..., 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 [Агрехимические..., 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/дм<sup>3</sup>, суммарная погрешность измерения с вероятностью  $P=0.95$  находится в пределах 0.01–0.03 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание железа в пробах находили по градуировочному графику, все точки которого укладывались на прямую линейной аппроксимации, величина достоверности  $R^2 = 0.98$ .

Уровень рН 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 комплексометрическим 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<sub>th</sub>-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).

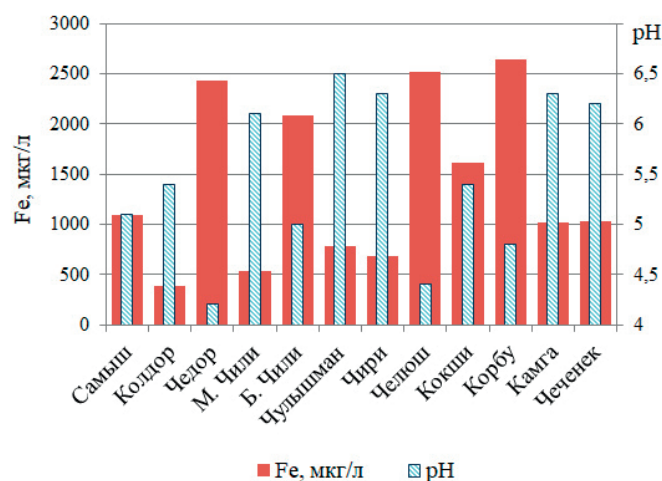


Рис. 1. Содержание растворенного железа в почвенных растворах горно-лесных почв бассейна озера Телецкое, в зависимости от уровня pH среды.

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 рН, 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 рН 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  $155 \pm 15$  мкг/л), чем содержание Fe в водах рек западных притоков (в среднем  $120 \pm 10$  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.

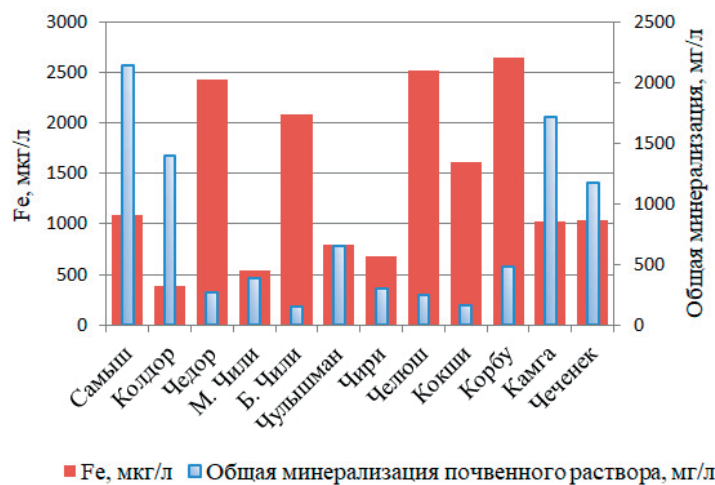


Рис. 2. Содержание растворенного железа в различных по уровню общего содержания растворимых солей почвенных растворах  
 Fig. 2. Soluble iron in soil solutions with various TDS

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, Шмыгляя, 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).

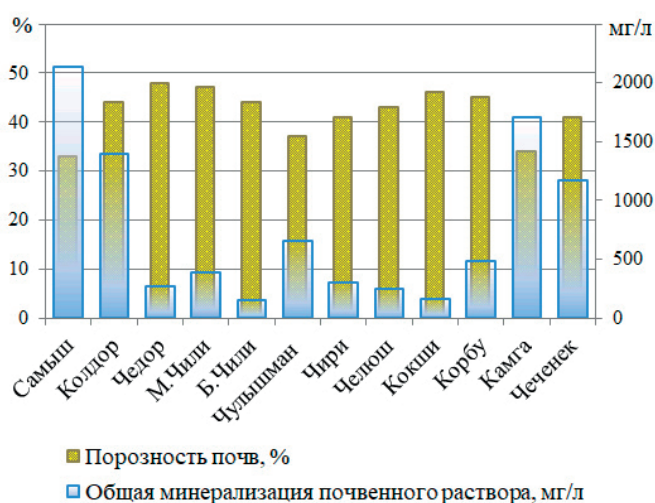


Рис. 3. Общая минерализация почвенного раствора в различных по порозности почвах бассейна Телецкого озера

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 рН ( $r=-0.81$ ), 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., Госсэ 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-, антропоферных 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.

Шейн 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 <sup>137</sup>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., Elchininova O.A., Rozhdestvenskaya T.A., Vodno-fizicheskie svoystva i modelirovanie processa dvizheniya vlagi v chernozemah yuzhnyh 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 malyh rek Severo-Vostochnogo Altaya fotometricheskim metodom s sul'fosalicilovoj kislotoj [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. Izmenenie sostava prirodnyh vod v sisteme “atmosfernye osadki – pochvennye rastvory – pochvenno-gruntovye vody – poverhnostnye 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: Pochvovedenie* [Moscow University Soil Science Bulletin]. 2022. No. 1. P. 3–13. (in Russian).

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

Zaitseva R.I., Minashina N.G., Sudnitsyn I.I. Koncentraciya rastvorov hloristogo natriya v porah 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 porovyh rastvorov temno-kashtanovyh 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 agrocenozov. [Comprehensive study of the productivity of agrocenoses.] 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. Vserossijskaya nauchnaya konferenciya “Lizimetricheskie issledovaniya v agrohimii, pochvovedenii i melioracii” [All-russia scientific conference “Lysimetric studies in agricultural chemistry, soil science, and land reclamation”] // Agrohimiya [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 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  $^{137}\text{Cs}$  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.