

УДК 631.471

doi: 10.17223/19988591/35/2

Т.В. Раудина, С.В. Лойко, И.В. Крицков, А.Г. Лим

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия*

Сравнение состава почвенных вод мерзлых болот Западной Сибири, полученных различными методами

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 16-34-60203 мол_а_дк.

Свойства и состав почвенных вод могут значительно различаться в зависимости от способа выделения и места пробоотбора. В ходе проведенных исследований рассмотрены и сравнены попарно методы отбора почвенных вод (самоизливание – вакуумная фильтрация, прессование – вакуумная фильтрация) на ключевых участках «Тазовский», «Ханымей». Определив некоторые показатели (рН, электропроводность, PO_4 , HPO_4 , SO_4^{2-} , Cl^- , Na , Mg , Ca , K , Fe , Al в почвенных водах, отобранных различными методами), отмечена значимая разница, в отдельных случаях связанная с глубиной отбора пробы и положением почвы в болотном ландшафте. Установлено, что для верховодок характерны более высокие значения параметров по сравнению с вакуумированными растворами. Так, число значимо различающихся превышений параметра в верховодке над вакуумным фильтратом равно 22, обратных случаев зафиксировано 8. При сравнении средних концентраций растворов, отобранных прессованием и вакуумной фильтрацией, отмечаются различия в 61% случаев (в 44 парах из 72 полученные значения с использованием свечей больше). Верховодка и вакуумированные воды различаются с фактором 1,5, а отпрессованные с вакуумированными – с фактором 1,6. Это может быть связано с различным соотношением почвенной влаги, извлекаемой различными методами. Вакуумная фильтрация – наименее нарушающий метод изучения жидкой фазы, однако при большом объеме работ имеет ограниченное применение, уступая отбору самоизливающихся вод. Закономерности неоднородности состава почвенных вод как внутри ключевых участков, так и между ними фиксируются и совпадают по результатам всех перечисленных методов, что позволяет использовать их вместе.

Ключевые слова: почвенные растворы; верховодки; торфяные олиготрофные почвы; прессование и вакуумная фильтрация.

Введение

Заболоченность Западной Сибири – феномен мирового масштаба, который заключается как в площади, занимаемой болотами, так и их общепризнанной роли в регуляции глобального климата [1–5]. Западносибирские

болота существенно влияют на потоки растворенных органических веществ и связанных с ними элементов с суши в Карское море, тем самым внося вклад в геохимическое состояние Северного Ледовитого океана и параметры биологической продукции в нём [6–9]. Потепление климата в будущем [10–15] может вызвать изменение характера влияния болот на химические параметры дренирующих их водотоков. К настоящему времени черты этих изменений малопонятны, поэтому существует задача изучения механизмов и масштаба влияния болот на гидрохимию водотоков. Очевидно, что ключевым объектом исследований при решении данной задачи являются почвенные (болотные) воды, которые представляют начальное звено формирования гидрохимического стока с болот.

Гидрохимия болотных вод Западно-Сибирской равнины лучше изучена в её немерзлотной части [16–24], водам мерзлых болот посвящено значительно меньше работ. Также во многих исследованиях отбор воды обычно производится путем самоизливания. В то же время в криолитозоне прогнозируется более существенное потепление, чем в районах, расположенных южнее [25, 26]. Показано, что потепление климата не приведет напрямую к значительному увеличению скорости деструкции торфа [27], поэтому основные изменения могут быть связаны с увеличением мощности деятельного слоя и изменением гидрологического режима, что особенно актуально для мерзлых болот, занимающих до 29% площади водосборов в южной тундре и до 40–70% в северной тайге [28–29] и обладающих существенным потенциалом роста объема деятельного слоя за счёт увеличения глубины протаивания. В условиях ограниченного вклада грунтовых вод в формирование стока рек криолитозоны мерзлые болота выступают доминирующим стокоформирующим элементом ландшафта, определяя гидрохимические параметры озёр и рек [3, 30–32]. Всё вышесказанное делает актуальным изучение почвенных вод мерзлых болот для целей прогнозирования изменения гидрохимических параметров водных объектов севера Западной Сибири в условиях меняющегося климата, а также и в случае увеличения антропогенной нагрузки на данную территорию.

В ходе многочисленных исследований растворов минеральных почв установлено, что их химические свойства могут различаться в зависимости от выбранного метода выделения раствора [33–39]. Это связано как с различной степенью нарушения равновесия в системе фаз «твёрдая – жидкая – газообразная», так и с выделением воды разной степени связанности с твёрдой фазой, что является следствием прилагаемого давления. Пробоотбор болотных вод для последующего анализа обычно осуществляется путём заложения шурфов и скважин, куда вода поступает путём самоизливания. Это соответствует диапазону влажности от полной до наименьшей влагоемкости (гравитационная и частично капиллярная влага). Вода, более прочно связанная с твёрдой фазой (плёночно-капиллярная, плёночная), не участвует в формировании пробы, что ограничивает представления о дифференциации

химического состава подвижных вод в зависимости от прочности их связи. В связи с этим при исследовании почвенных вод стояла задача сравнения методов нативного пробоотбора и выбора среди них наиболее оптимального для условий мерзлых болот, что и стало целью работы, результаты которой приводятся в настоящей статье.

Материалы и методики исследования

Разнообразие мерзлых болот криолитозоны Западной Сибири сводится к двум основным морфогенетическим типам: бугристые и полигональные [3]. Исследования 2014–2015 гг. включали выбор репрезентативных ключевых участков на аналогичных мерзлых болотах, извлечение почвенных вод с разных глубин несколькими методами и последующее определение химических и физико-химических свойств, а также обработку полученных результатов с использованием статистического анализа.

В подзоне южной тундры воды отбирали с трёх участков полигонального болота («Тазовский»: 67°22'N, 78°39'E): из торфяных мерзлотных олиготрофных почв на непросевших полигонах с мощностью деятельного слоя от 25 до 40 см; из аналогичных почв межполигональных мочажин (трещин) с мощностью деятельного слоя до 50 см; из магистральных мочажин, выводящих воды с болота. В северной тайге – на плоскобугристом болоте (участок «Ханымей»; 63°47'N, 75°38'E), из торфяных олиготрофных мерзлотных почв с деятельным слоем глубиной до 35–40 см и из мочажин, которые не имели мерзлоты, вплоть до минеральных горизонтов, залегающих на глубинах 70–110 см.

Отбор почвенных растворов осуществлялся из деятельного слоя торфяных почв тремя способами: 1) отжимом в титановом прессе образцов торфа, отобранных в почвенных разрезах с различных глубин по профилю; 2) вакуумной фильтрацией с помощью керамических свечей SDEC с размером пор ≈ 2 мкм, которые устанавливали горизонтально в стенку почвенного разреза или в скважину с помощью спицы на глубину 15 см, после чего разрез или скважина заполнялись изъятым ранее торфом. Свеча поглощала воду благодаря вакууму, создаваемому в принимающей емкости путем откачки воздуха насосом, прикладываемое всасывающее давление составляло 0,7–0,9 бар; 3) отбором самоизливающихся вод в почвенный разрез, вскрывающий верхнюю часть горизонта надмерзлотной верховодки.

Первый метод позволяет получить почвенный раствор значительно быстрее второго, где процесс может занимать иногда и до 2–3 суток в зависимости от влажности. Но вакуумный метод наиболее приближен к естественным условиям, так как минимизирует контакт с атмосферным воздухом и может быть использован для наблюдений за сезонной и межгодовой динамикой гидрохимических параметров почвенных растворов. Почвенные воды, полученные третьим методом, наиболее схожи по составу к тем, которые уча-

ствуют в формировании стока, питают ручьи и озера, ведь именно верхние слои торфа обладают наибольшей горизонтальной водопроницаемостью [3].

Пробы отбирались по следующей схеме. В 2014 г. почвенные растворы получены прессованием и вакуумной фильтрацией для пары горизонтов аналогичных торфяных почв. А именно самого верхнего (диапазон 0–10/15 см) и самого глубокого, залегающего непосредственно над горизонтом мерзлого торфа, что может стать основанием для выявления внутрипрофильной неоднородности химического состава водной фазы в дальнейшем. В 2015 г. пробы вод извлекали керамическими свечами и из аналогичных разрезов образцы верховодки. Всего отобрано и проанализировано около 80 образцов вод.

Отобранные образцы вод непосредственно в полевых условиях пропускались через фильтры диаметром 0,45 мкм (Merk Millipor) и консервировались для последующих лабораторно-аналитических исследований. При определении химических и физико-химических показателей использовались следующие методы: pH – потенциометрический; удельная электропроводность – кондуктометрический; содержание растворенного органического (POY) и неорганического (НРОУ) углерода – каталитическое окисление (TOC-VCSN, SHIMADZU, Япония); SO_4^{2-} , Cl^- – ионная хроматография (DIONEX ICS-2000); Na, Mg, Ca, K, Fe, Al – с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS, Agilent 7500 CE, США).

Результаты исследования и обсуждение

В зависимости от выбранного метода получения вод из торфяных почв мерзлых болот расхождения в значениях отдельных химических параметров могут достигать существенных величин. Полученные нами результаты показали расхождение в химических параметрах вод в зависимости от выбранного метода их получения. Вакуумная фильтрация, позволяющая отбирать почвенный раствор по профилю без извлечения образца, имеет ограниченное применение, так как занимает довольно длительное время и требует большого количества керамических свечей. Поэтому неизбежно применение иных методов при картографировании химических параметров почвенных вод, а при этом важно знать особенности состава, получаемого каждым способом. Также сравнение разных методов позволяет приблизиться к пониманию дифференциации химического состава в зависимости от форм связи воды с твердой фазой. Ниже приведены результаты сравнения некоторых химических параметров вод, полученных вакуумной фильтрацией, с верховодками, а затем с отпрессованными водами.

Почвенные растворы и верховодки. На рис. 1 представлены средние величины рассматриваемых показателей ($M \pm SD$) и их различие в зависимости от используемого метода отбора почвенных вод (почвенные растворы, отобранные вакуумной фильтрацией и их положения в рельефе самоизливания – верховодки) и типа болотной микроформы (бугор/полигон, мочажина). Для

участка «Тазовский» сравнивали 8 параллельных пар образцов, а для участка «Ханымей» – 12 параллельных пар.

На участке «Тазовский» содержание РОУ колеблется в широких пределах – от 42 мг/л в мочажине до 97 мг/л на полигоне и в 1,5 раза больше в верховодке по сравнению с раствором. Для участка «Ханымей» столь высоких различий не наблюдается, что подтверждается статистически ($z = -0,927$; $p = 0,354$). Значения pH в почвенных растворах независимо от положения в ландшафте на 0,2–0,7 единицы выше, чем в самоизливающихся водах. Уровень pH почвенных растворов, отделенных от твердых фаз почвы, может сохраняться в течение 3–6 месяцев, что свидетельствует о существовании устойчивого равновесия в растворе, в том числе и с газовой фазой [36]. Электропроводность больше во всех случаях в верховодках, особенно на полигональном болоте. В торфяных олиготрофных почвах величина РОУ в значительной мере определяет pH и электропроводность за счёт низкомолекулярных органических кислот, проявляется слабая зависимость: чем больше углерода, тем меньше pH ($r^2 = 0,63$) и выше электропроводность ($r^2 = 0,54$). Низкомолекулярные органические кислоты – один из главных факторов кислотности [40] и электропроводности рассматриваемых почв. Подобные зависимости характерны и для озёр, питающихся водами с плоскобугристых болот, что указывает на низкую трансформацию почвенно-болотных вод при их поступлении в озёра [41–42]. Повышенное содержание РОУ в верховодках объясняется тем, что, заполняя разрез или скважину, вода проходит большую дистанцию в толще торфа, чем при заполнении свечи. Поэтому и количество выщелачивающихся органических веществ из торфа выше. Этим объясняются повышенные концентрации в верховодках и иных элементов (Fe, Al, K, Na, Mg, Ca).

Выбор метода отбора не имеет существенного значения для концентраций Ca, Mg на полигонах и буграх. В мочажинах же различные методы дают расхождение концентраций по Ca более чем в 1,5 раза. При этом в мочажинах полигонального болота содержание Ca выше в верховодке, а в мочажине бугристого – в почвенном растворе. Это может быть связано в целом с более высоким уровнем содержания Ca в водах полигонального болота, что позволяет Ca выщелачиваться, в отличие от плоскобугристого болота, где он находится преимущественно в растворах более связанных форм влаги. Содержание Fe, Al, Na и K в верховодках в целом выше, чем в почвенных растворах. При этом наиболее сильно почвенные верховодки отличаются от почвенных растворов по содержанию Na и K (1,5–3 раза), это может объясняться тем, что данные элементы не образуют малоподвижных комплексов с органическими веществами.

Изученные параметры в целом имеют более высокие значения в верховодках. Так, число достоверно различающихся превышений параметров в верховодке над фильтратом, полученным вакуумным способом, равно 22, в то время как с помощью свеч – только в 8 случаях. Если сравнивать ключе-

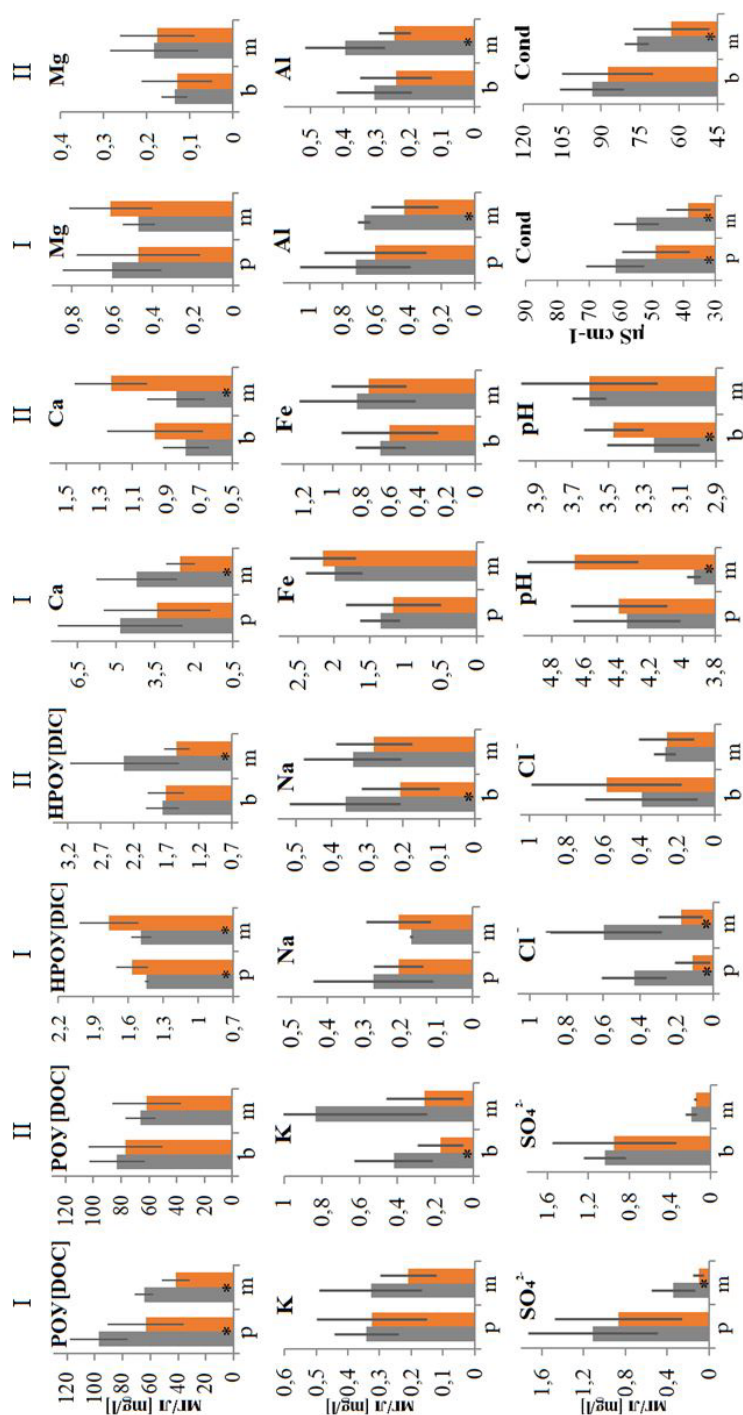


Рис. 1. Сравнение некоторых химических параметров почвенных вод, отобранных методами вакуумной фильтрации и самоизливания (верховодка) в 2014 г.; p, b, m – полигон, бугор и мочажина соответственно; I – участок «Газовский», II – участок «Ханымей»

*Статистически значимые различия между рассматриваемыми методами (p < 0,05)

[Fig. 1. Comparison of some chemical parameters of superpermafrost water and soil solution sampled by vacuum filtration: p, b, m - polygon, mound and hollow respectively, I - Key site "Tazovsky", II - Key site "Khanymey". On the X axis - Polygon, mound and hollow, on the Y axis - mg/L.

*Significant differences between these methods (p < 0,05)]

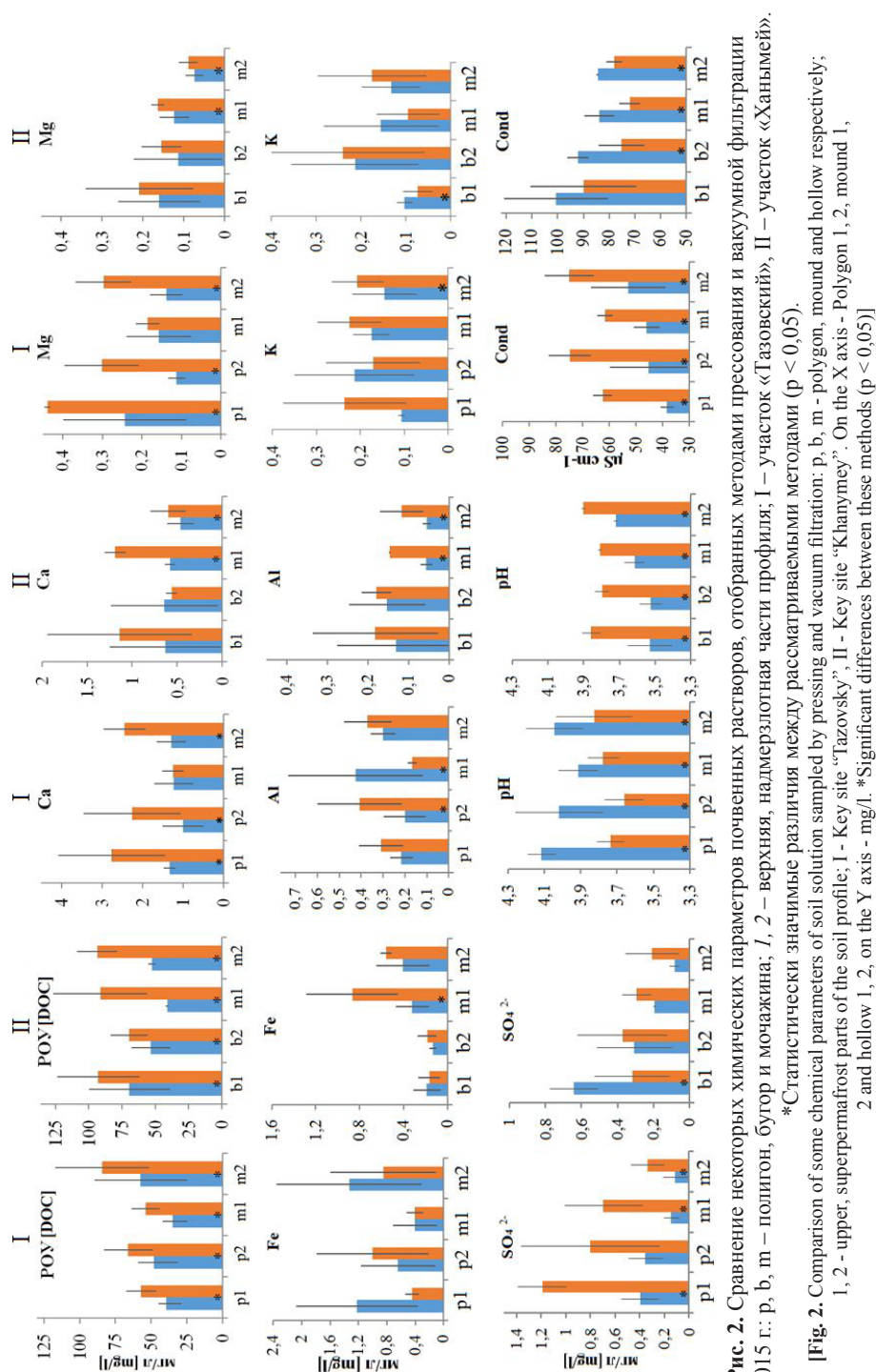
вые участки, то чаще значимо различаются параметры между собой на полигональном болоте («Тазовский»), чем на плоскобугристом («Ханымей»). Форма микрорельефа не оказывает влияния на количество встреч достоверных различий; так, 15 случаев приходится как на полигоны / бугры, так и на мочажины. При этом в целом в мочажинах средняя величина различия результатов сравниваемых пар методов выше, чем на полигонах / буграх (1,6 против 1,4 раза соответственно). Для мочажин по сравнению с полигонами / буграми характерны более низкие значения РОУ, сульфатов и электропроводности (в связи с большей проточностью), все остальные показатели ведут себя не так однозначно. Описанные различия в концентрациях могут объясняться тем, что верховодки представлены смешанной влагой, которая залегает над толщей мерзлоты и отражает особенности химического состава торфяного профиля в целом, а мочажины имеют большие коэффициенты водоотдачи, особенно проточные, поэтому выщелачивающиеся с прилегающих повышений элементы будут находиться в большей концентрации в воде в гравитационном состоянии.

Состав верховодки в целом отличается от состава почвенного раствора, полученного вакуумной фильтрацией, за исключением некоторых элементов (Mg, Fe, Al), концентрации которых достоверно не различаются. Поэтому получаемые в ходе исследований значения концентраций элементов будут зависеть от выбранного метода, а также положения в болотном микроландшафте, однако однозначно закономерных различий между двумя рассмотренными методами не выявлено.

Отжим и вакуумная фильтрация. Вторая пара рассмотренных методов (отжим и вакуумная фильтрация) даёт представления о более связанных формах почвенной влаги с твёрдой фазой. При воздействии пресса на почвы происходит нарушение их естественного сложения, что может сопровождаться смещением присущего равновесия в соотношениях газ – твёрдая – жидкая фазы и как следствие изменение состава и свойств получаемых почвенных растворов. Метод вакуумной фильтрации также имеет некоторые особенности; так, нужно учитывать, что малые размеры пор свечей ведут к их забиванию. Некоторые исследователи утверждают, что существует опасность выветривания материала фильтра, сопровождающаяся выщелачиванием ряда элементов [43], однако другие источники свидетельствуют о противоположном [36]. На участках «Тазовский» и «Ханымей» изучено по 12 параллельных пар образцов.

На рис. 2 отображены средние значения концентраций элементов ($M \pm SD$) и их сравнение с учетом выбранного метода. Графики также дают представление о содержании рассматриваемых показателей в пространстве: по профилю (верхняя и надмерзлотная части профиля) и внутри ландшафта (полигон / бугор и мочажина).

На основе выполненного сравнительного анализа выявлены некоторые особенности поведения изучаемых показателей. Так, отмечаются наибольшие значения практически всех параметров в почвенных растворах, ото-



бранных с помощью свеч, независимо от положения в рельефе и глубины отбора, за исключением Fe, Al, K, Na. Последние элементы ведут себя нестабильно, с большой вариабельностью значений и преобладанием в растворах, отобранных с помощью пресса, в некоторых из сопоставимых пар. Статистически значимые различия ($z = 1,99-2,2$; $p = 0,028-0,044$) между методами для отмеченных выше элементов встречаются не везде, чаще они наблюдаются в мочажинах. Что касается РОУ и таких биогенных элементов, как Ca, Mg, то достоверные различия в концентрациях прослеживаются как между методами, так и по глубине почвенного профиля в мочажине и на полигоне. Так, по содержанию Ca, Mg «вакуумные» почвенные растворы отличаются в большую сторону (более чем вдвое) от соответствующих, полученных путем отжима. Достоверные различия между значениями наблюдаются в 60% случаев. Для РОУ разброс концентраций между способами отбора меньше (не более чем в 2 раза), однако они достоверно отличаются ($z = 3,05-2,2$; $p = 0,008-0,027$) друг от друга. Большее количество органического углерода содержится в надмерзлотной части профиля (до 95 мг/л). Что касается pH и удельной электропроводности, то достоверное различие значений имеется, но явной, приуроченной к методам, ключевым участкам или формам микро-рельефа, – нет.

Рассмотрение расхождений результатов двух сравниваемых методов в зависимости от выбранного почвенного горизонта показывает, что в приповерхностном горизонте в среднем результаты различаются в 1,7 раза на полигонах / буграх и в 1,8 раза в мочажинах. В надмерзлотном же горизонте расхождения составили от 1,5 до 1,6 раза соответственно. Это связано с меньшим содержанием гравитационной влаги в приповерхностном горизонте, большей степенью дифференциации химического состава раствора в зависимости от степени его связи с твердой фазой.

Сравнение средних для этой группы методов показало, что статистически значимые различия между двумя изучаемыми и описанными выше методами наблюдаются в 61% случаев (в 44 парах из 72). Это подтверждает наше представление о вышесказанных особенностях каждого из методов отбора и дает основание полагать, что вакуумная фильтрация дает представление и о химическом составе более связанных форм почвенной влаги.

Полученные результаты показывают, что при интерпретации данных, а также сравнении результатов разных исследовательских групп необходимо учитывать способ отбора проб вод торфяных почв. Каждый из рассмотренных методов имеет свои преимущества. Так, при отборе почвенных вод методом вакуумной фильтрации происходит наименьшее нарушение почвенной толщи, поэтому можно изучать внутрипрофильную неоднородность химического состава водной фазы. Кроме того, данный метод пригоден и для длительных по времени исследований, так как керамическая свеча может долгое время находиться в почве, пока её поры не забьются тонкодисперсными частицами. Отбор самоизливающихся вод менее затратен и

может быть рекомендован для изучения пространственной вариабельности гидрохимических свойств верховодок. Верховодки наиболее идентичны составу тех вод, которые участвуют в формировании стока, питают ручьи и озера (извлекаемые при этом воды чаще представляют собой гравитационные).

Заключение

В зависимости от выбранного метода получения вод из торфяных почв мерзлых болот расхождения в значениях отдельных химических параметров могут достигать существенных величин. Концентрации элементов в верховодке достоверно отличаются от таковых в почвенном растворе, полученном вакуумной фильтрацией. Различия между этими двумя методами разнонаправленны, число достоверно различающихся превышений параметра в верховодке над вакуумным фильтратом равно 22, обратных случаев – 8. Сравнение почвенных растворов, отобранных керамическими свечами, с отпрессованными растворами показало более однонаправленные тренды – наибольшие значения практически всех параметров (в 44 парах из 72, за исключением концентраций Fe, Al, K, Na) получены в растворах, отобранных с помощью керамических свечей. Выявленные расхождения в параметрах почвенных вод, в зависимости от способа пробоотбора, связаны с различным соотношением извлекаемых категорий почвенной влаги в получаемом образце. Вакуумная фильтрация и прессование дают представление о составе более связанных форм почвенной влаги по сравнению с самоизливающимися верховодками.

Литература

1. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слуга З.А., Толтышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула : Гриф и К°, 2001. 584 с.
2. Zakharova E.A., Kouraev A.V., Rémy F., Zemtsov V.A., Kirpotin S.N. Seasonal variability of the Western Siberia wetlands from satellite radar altimetry // Journal of Hydrology. 2014. № 512. P. 366–378.
3. Новиков С.М. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. СПб. : Изд-во ВВМ, 2009. 549 с.
4. Friborg T., Soegaard H., Christensen T.R., Lloyd C.R., Panikov N.S. Siberian wetland: Where a sink is a source // Geophysical Research Letters. 2003. Vol. 30, № 21. P. 2129–2132.
5. Болота Западной Сибири: их роль в биосфере / под ред. А.А. Земцова, В.А. Земцова, Л.И. Инишевой, А.В. Мезенцева. Томск, 2000. 72 с.
6. Kirpotin S.N., Berezin A.E., Bazanov V.A., Polishchuk Yu.M., Vorobiov S.N., Mironycheva-Tokoreva N., Kosykh N., Volkova I.I., Dupre B., Pokrovsky O.S., Kouraev A., Zakharova E., Shirokova L., Mognard N., Biancamaria S., Viers J., Kolmakova M. Western Siberia wetlands as indicator and regulator of climate change on the global scale // Int. J. Environ. Studies. 2009. Vol. 66, № 4. P. 409–421.
7. Smith L.C., Beilman D.W., Kremenetski K.V., Sheng Y., MacDonald G.M., Lammers R.B., Shiklomanov A.I., Lapshina E.D. Influence of permafrost on water storage in West Siberian

- peatlands revealed from a new database of soil properties // *Permafrost Periglac. Process.* 2012. Vol. 23, № 1. P. 69–79.
8. *Amon R.M.W., Meon B.* The biogeochemistry of dissolved organic matter and nutrients in two large Arctic estuaries and potential implications for our understanding of the Arctic Ocean system // *Marine Chemistry.* 2004. Vol. 92. P. 311–330.
 9. *Суханова И.Н., Флинт М.В., Сергеева В.М., Кременецкий В.В.* Фитопланктон юго-западной части Карского моря // *Океанология.* 2011. Т. 51, № 6. С. 1039–1053.
 10. *Frey K.E., McClelland J.W.* Impacts of permafrost degradation on Arctic river biogeochemistry // *Hydrol. Process.* 2009. Vol. 23. P. 169–182.
 11. *Prowse T.D., Wrona F.J., Reist J.D., Gibson J.J., Hobbie J.E., Lévesque L.M.J., Warwick F.V.* Climate change effects on hydroecology of Arctic freshwater ecosystems // *Ambio.* 2006. Vol. 35, № 7. P. 347–358.
 12. *Кабанов М.В.* Некоторые закономерности климатических и экосистемных изменений в Сибири // *Журнал Сиб. федерального ун-та. Биология.* 2008. Т. 1, № 4. С. 312–322.
 13. *Anisimov O., Kokorev V., Zhil'tsova Y.* Temporal and spatial patterns of modern climatic warming: Case study of Northern Eurasia // *Climatic Change.* 2013. Т. 118, № 3–4. P. 871–883.
 14. *Шерстюков А.Б.* Изменения климата и их последствия в зоне многолетней мерзлоты России. Обнинск : ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2009. 127 с.
 15. *Callaghan T.V., Bergholm F., Christensen T.R., Jonasson C., Kokfelt U., Johansson M.* A new climate era in the sub-Arctic: Accelerating climate changes and multiple impacts // *Geophys. Res. Lett.* 2010. Vol. 37, № 14. P. 1–6.
 16. *Инишева Л.И., Земцов А.А., Лисс О.Л., Новиков С.М., Инишев Н.Г.* Васюганское болото: природные условия, структура и функционирование. Томск : ЦНТИ, 2000. 136 с.
 17. *Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Сидоренко Т.Н., Здвижков М.А.* Геохимия природных вод района Большого Васюганского болота // *Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития.* Томск : Ин-т оптики и атмосферы, 2002. С. 139–149.
 18. *Инишева Л.И., Инишев Н.Г.* Водная миграция химических элементов в системе геохимически сопряженных олиготрофных ландшафтов с потоком поверхностно-болотных вод // *Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия.* Томск : Изд-во НТЛ, 2000. С. 204–208.
 19. *Савичев О.Г.* Геохимические показатели болотных вод в таежной зоне Западной Сибири // *Известия Российской академии наук. Серия географическая.* 2015. № 4. С. 47–57.
 20. *Рассказов Н.М.* Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-востока Западной Сибири) // *Известия ТПУ.* 2005. Т. 308, № 4. С. 55–58.
 21. *Лепокурова О.Е., Шварцев С.Л., Зятева О.Ф.* Химический состав некоторых органических типов подземных вод западной части Томской области // *Гидрогеохимия осадочных бассейнов.* Томск : Изд-во НТЛ, 2007. С. 270–275.
 22. *Савичев О.Г.* Химический состав болотных вод на территории Томской области (Западная Сибирь) и их взаимодействие с минеральными и органо-минеральными соединениями // *Известия ТПУ.* 2009. Т. 314, № 1. С. 72–77.
 23. *Shvartsev S.L., Serebrennikova O.V., Zdvizhkov M.A. et al.* Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast // *Geochemistry Int.* 2012. Vol. 50, № 4. P. 367–380.
 24. *Naymushina O.S., Shvartsev S.L., Ses K.V.* Hydrochemistry and Composition of Hydrocarbons in the Waters of Peatlands in Western Siberia // *IERI Procedia.* 2014. Vol. 8. P. 119–124.
 25. *Jones P.D., Moberg A.* Hemispheric and Large-Scale Surface Air Temperature Variations: An Extensive Revision and an Update // *Journal of Climate.* 2003. Vol. 16, № 2. P. 206–223.

26. Melnikov V.P., Drozdov D.S. Distribution of Permafrost in Russia // *Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide*. NATO Science Series IV. 2006. Vol. 65. P. 69–80.
27. Добровольская Т.Г., Головченко А.В., Звягинцев Д.Г., Инишева Л.И., Кураков А.В., Смагин А.В., Зенова Г.М. и др. Функционирование микробных комплексов верховных торфяников – анализ причин медленной деструкции торфа. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2013. 131 с.
28. Романова Е.А. Типологическая карта болот Западно-Сибирской равнины. М. 1:2 500 000. М. : ГУГК, 1977. 1 л.
29. Романова Е.А. Растительность болот // *Растительный покров Западно-Сибирской равнины*. Новосибирск : Наука, 1985. С. 138–160.
30. Еришов Э.Д. Геокриология СССР. Западная Сибирь. М. : Недра, 1989. 454 с.
31. Pokrovsky O.S., Manasyrov R.M., Loiko S.V., Shirokova L.S., Krickov I.A., Pokrovsky B.G., Kolesnichenko L.G., Kopysov S.G., Zemtsov V.A., Kulizhsky S.P., Vorobyev S.N., Kirpotin S.N. Permafrost coverage, watershed area and season control of dissolved carbon and major elements in western Siberian rivers // *Biogeosciences*. 2015. № 12. P. 6301–6320.
32. Manasyrov R.M., Vorobyev S.N., Loiko S.V., Kritzov I.V., Shirokova L.S., Shevchenko V.P., Kirpotin S.N., Kulizhsky S.P., Kolesnichenko L.G., Zemtsov V.A., Sinkinov V.V., Pokrovsky O.S. Seasonal dynamics of organic carbon and metals in thermokarst lakes from the discontinuous permafrost zone of western Siberia // *Biogeosciences*. 2015. № 12. P. 3009–3028.
33. Яшин И.М. Методология и опыт изучения миграции веществ. М. : Изд-во МСХА, 2001. 173 с.
34. Караванова Е.И., Малинина М.С. Пространственная и временная вариабельность элементного состава почвенных растворов торфянисто-подзолистых глееватых почв // *Почвоведение*. 2007. № 8. С. 927–936.
35. Пристова Т.А., Забоева И.В. Химический состав атмосферных осадков и лизиметрических вод подзола иллювиально-железистого под хвойно-лиственными насаждениями (Республика Коми) // *Почвоведение*. 2007. № 12. С. 1472–1481.
36. Малинина М.С., Караванова Е.И., Белянина 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.
37. Bonito D.M. Trace Elements in Soil Pore Water: A Comparison of Sampling Methods : Thesis of PhD. England, University of Nottingham, 2005. 298 p.
38. Geibe C.E., Danielsson R., Hees P., Lundström U.S. Comparison of soil solution chemistry sampled by centrifugation, two types of suction lysimeters and zero-tension lysimeters // *Appl. Geochem*. 2006. № 21. P. 2096–2111.
39. Schlotter D., Schack-Kirchner H., Hildebrand E.E., Wilpert K. Equivalence or complementarity of soil-solution extraction methods // *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 2012. № 175. P. 236–244.
40. Шамрикова Е.В., Каверин Д.А., Пастухов А.В., Лантева Е.М., Кубик О.С., Пунегов В.В. Водорастворимые органические кислоты торфяных мерзлотных почв юго-востока Большеземельской тундры // *Почвоведение*. 2015. № 3. С. 288–295.
41. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S., Manasyrov R.M., Kirpotin S.N., Kulizhsky S.P., Kolesnichenko L.G., Loiko S.V., Vorobyev S.N. Thermokarst lakes of Western Siberia: a complex biogeochemical multidisciplinary approach // *International Journal of Environmental Studies*. 2014. № 5. P. 733–748.
42. Manasyrov R.M., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N., Shirokova L.S. Thermokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia // *The Cryosphere*. 2014. № 8. P. 1177–1193.
43. Driscoll C.T., Vanbreemen N., Mulder J. Aluminum chemistry in a forested spodosol // *Soil Science Society of America Journal*. 1985. Vol. 49. P. 437–444.

Поступила в редакцию 04.05.2016 г.; повторно 21.06.2016 г.;
принята 04.07.2016 г.; опубликована 21.09.2016 г.

Авторский коллектив:

Раудина Татьяна Валериевна – аспирант кафедры почвоведения и экологии почв Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета; м.н.с. лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия).

E-mail: tanya_raud@mail.ru

Лойко Сергей Васильевич – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия).

E-mail: s.loyko@yandex.ru

Крицков Иван Викторович – аспирант кафедры почвоведения и экологии почв Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета; м.н.с. лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия).

E-mail: krickov_ivan@mail.ru

Лим Артем Георгиевич – аспирант кафедры почвоведения и экологии почв Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета; м.н.с. лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия).

E-mail: lim_artiom@mail.ru

Raudina TV, Loyko SV, Krickov IV, Lim AG. Comparing the composition of soil waters of West Siberian frozen mires sampled by different methods. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2016;3(35):26-42. doi: 10.17223/19988591/35/2 In Russian, English summary

Tatiana V. Raudina¹, Sergey V. Loyko¹, Ivan V. Krickov¹, Artem G. Lim¹

Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Comparing the composition of soil waters of West Siberian frozen mires sampled by different methods

The permafrost zone occupies around 30% of the West Siberian Plain. Permafrost bogs are the dominant type there and differ in structure and hydro-thermal regime from bogs of the "melted" area. A link between substance flows in rivers and processes occurring in interfluvial landscapes are soil waters providing transportation of hydrocarbon and other chemical elements into the river network. Evidently, under conditions of climate change the hydrochemistry of soil waters will act as a sensitive indicator of environment changes. It's known that the chemical properties of soil waters can vary depending on the chosen sampling method. The main aim of this research was to compare the native methods of sampling and then select the most optimal for the conditions of frozen bogs. The comparison was made using the materials obtained from peat oligotrophic permafrost soils in 2014-2015. We extracted all bog water samples on polygonal bogs in the southern tundra (key site "Tazovskiy"; 67°22'N, 78°39'E) and palsa bogs in the northern taiga (key site "Khanymey"; 63°47'N, 75°38'E). Samples were taken in three ways: 1) pressing of peat samples (titanium press); 2) vacuum filtration (porous ceramic cups, SDEC); 3) extraction of superpermafrost water. We considered methods of soil water sampling in pairs (superpermafrost water - water after vacuum filtration; water after pressing - water after vacuum filtration) and then we determined some parameters (pH, conductivity, DOC, DIC, SO₄²⁻, Cl⁻, Na, Mg, Ca, K, Fe, Al).

Superpermafrost water is characterized by higher values of parameters in comparison with water after vacuum filtration (in 22 cases against 8). At the site “Tazovskiy” DOC content ranges from 42 mg/L in hollows to 97 mg/L at the polygon and 1.5 times more in superpermafrost water. There are no major differences for the key site “Khanymey” ($z = -0.927$; $p = 0.354$). The pH values do not depend on the landscape position in soil solution and are at 0.2-0.7 units higher than in superpermafrost water. The electrical conductivity of superpermafrost water is higher in all cases, especially on polygonal bog. The choice of extraction method has no effect on values of Ca and Mg on polygons and mounds. In hollows, different methods give the difference in Ca concentrations more than 1.5 times. Fe, Al, Na and K contents in superpermafrost water is generally higher than in soil solutions. These results show that values depend on the method and the position in the bog micro landscape; however, we did not identify any obvious differences between the methods. The second pair of methods (pressing - vacuum filtration) provides information about combined forms of the soil moisture and allows selecting the soil solution at a predetermined depth. The highest values of almost all parameters are found in soil solutions, selected by ceramic cups, regardless of the relief position and sampling depth, except for Fe, Al, K, Na. As for DOC, Ca, Mg, the difference at concentrations are observed both between methods and with the depth of soil profile in hollows and at the polygon. The comparison of means showed that statistically significant differences between the two studied and described above methods are observed in 61% of cases (in 44 of 72 pairs). The results show that for a correct interpretation of the data and comparison of the results from different research groups, the method of sampling peat soil water should be taken into account. Using vacuum filtration method is possible to study intraprofile heterogeneity. The superpermafrost water sampling is less expensive and suitable for studying the spatial variability of hydro-chemical properties.

Funding: This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No 16-34-60203).

The article contains 2 Figures, 43 References.

Key words: soil solutions; superpermafrost water; peat; pressing and vacuum filtration; chemical and physico-chemical parameters.

References

1. Liss OL, Abramova LI, Avetov NA, Berezina NA, Inisheva LI, Kurnishkova TA, Sluka ZA, Tolpysheva TYu, Shvedchikova NK. Bolotnye sistemy Zapadnoy Sibiri i ikh prirodookhrannoe znachenie [Mire systems of West Siberia and their environmental significance]. Tula: Grif & K^o.; 2001. 584 p. In Russian
2. Zakharova EA, Kouraev AV, Rémy F, Zemtsov VA, Kirpotin SN. Seasonal variability of the Western Siberia wetlands from satellite radar altimetry. *Journal of Hydrology*. 2014;512:366-378. doi: [10.1016/j.jhydrol.2014.03.002](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.002)
3. Novikov SM. Gidrologiya zabolochennykh territoriy zony mnogoletney merzloty Zapadnoy Sibiri [Hydrology of wetlands in West Siberia permafrost zone]. St. Petersburg: VVM Publ.; 2009. 549 p. In Russian
4. Friberg T, Soegaard H, Christensen TR, Lloyd CR, Panikov NS. Siberian wetland: Where a sink is a source. *Geophysical Research Letters*. 2003;30(21):2129-2132. doi: [10.1029/2003GL017797](https://doi.org/10.1029/2003GL017797)
5. *Bolota Zapadnoy Sibiri – ikh rol' v biosphere* [Mires of Western Siberia: their role in the biosphere]. Zemtsov AA, editor. Tomsk: Tomsk State University Publ., SibNIIT Publ.; 2000. 72 p. In Russian

6. Kirpotin SN, Berezin AE, Bazanov VA, Polishchuk YuM, Vorobiov SN, Mironycheva-Tokoreva N, Kosykh N, Volkova II, Dupre B, Pokrovsky OS, Kouraev A, Zakharova E, Shirokova L, Mognard N, Biancamaria S, Viers J, Kolmakova M. Western Siberia wetlands as indicator and regulator of climate change on the global scale. *International Journal of Environmental Studies*. 2009;66(4):4090-421. doi: [10.1080/00207230902753056](https://doi.org/10.1080/00207230902753056)
7. Smith LC, Beilman DW, Kremenetski KV, Sheng Y, MacDonald GM, Lammers RB, Shiklomanov AI, Lapshina ED. Influence of permafrost on water storage in West Siberian peatlands revealed from a new database of soil properties. *Permafrost Periglacial Process*. 2012;23(1):69-79. doi: [10.1002/ppp.735](https://doi.org/10.1002/ppp.735)
8. Amon RMW, Meon B. The biogeochemistry of dissolved organic matter and nutrients in two large Arctic estuaries and potential implications for our understanding of the Arctic Ocean system. *Marine Chemistry*. 2004;92(1-4):311-330. doi: [10.1016/j.marchem.2004.06.034](https://doi.org/10.1016/j.marchem.2004.06.034)
9. Sukhanova IN, Flint MV, Sergeeva VM, Kremenetskiy VV. Phytoplankton of the South-Western part of the Kara Sea. *Oceanology*. 2011;51(6):978-992. doi: [10.1134/S000143701106018X](https://doi.org/10.1134/S000143701106018X)
10. Frey KE, McClelland JW. Impacts of permafrost degradation on arctic river biogeochemistry. *Hydrol. Process*. 2009;23:169-182. doi: [10.1002/hyp.7196](https://doi.org/10.1002/hyp.7196)
11. Prowse TD, Wrona FJ, Reist JD, Gibson JJ, Hobbie JE, Lévesque LMJ, Warwick FV. Climate change effects on hydroecology of Arctic freshwater ecosystems. *Ambio: A Journal of the Human Environment*. 2006;35(7):347-358. doi: [10.1579/0044-7447\(2006\)35\[347:CCEOHO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35[347:CCEOHO]2.0.CO;2)
12. Kabanov MV. Some regularities in climatic and ecosystem changes in Siberia. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2008;1(4):312-322. In Russian
13. Anisimov O, Kokorev V, Zhil'tsova Y. Temporal and spatial patterns of modern climatic warming: Case study of Northern Eurasia. *Climatic Change*. 2013;118(3-4):871-883. doi: [10.1007/s10584-013-0697-4](https://doi.org/10.1007/s10584-013-0697-4) In Russian, English Summary
14. Sherstyukov AB. *Izmeneniya klimata i ikh posledstviya v zone mnogoletney merzloty Rossii* [Climate change and its consequences in the permafrost zone of Russia]. Obninsk: GU VNIIGMI-MTSD Publ.; 2009. 127 p. In Russian
15. Callaghan TV, Bergholm F, Christensen TR, Jonasson C, Kokfelt U, Johansson M. A new climate era in the sub-Arctic: Accelerating climate changes and multiple impacts. *Geophys. Res. Lett*. 2010;37(14):1-6. doi: [10.1029/2009GL042064](https://doi.org/10.1029/2009GL042064)
16. Inisheva LI, Zemtsov AA, Liss OL, Novikov SM, Inishev NG. Vasyuganskoe boloto: prirodnye usloviya, struktura i funktsionirovanie [The Vasyugan swamp: natural conditions, structure and functioning]. Tomsk: iTSNTI Publ.; 2000. 136 p. In Russian
17. Shvartsev SL, Rasskazov NM, Sidorenko TN, Zdvizhkov MA. Geokhimiya prirodnikh vod rayona Bol'shogo Vasyuganskogo bolota [Geochemistry of natural waters of the Great Vasyugan Mire]. In: *Bol'shoe Vasyuganskoe boloto. Sovremennoe sostoyanie i protsessy razvitiya* [The great Vasyugan Mire. Current status and development processes]. Kabanov MV, editor. Tomsk: VE Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAN; 2002. pp. 139-149. In Russian
18. Inisheva LI, Inishev NG. Vodnaya migratsiya khimicheskikh ehlementov v sisteme geokhimicheskoi sopryazhennykh oligotrofnykh landshaftov s potokom poverkhnostno-bolotnykh vod [Water migration of chemical elements in the system of conjugated oligotrophic geochemical landscapes with the flow of the bog-surface waters]. In: *Fundamental'nye problemy vody i vodnykh resursov na rubezhe tret'ego tysyacheletiya*. Materialy Mezhdunarodnoy nauch. konf. [Fundamental problems of water and water resources at the turn of the third millennium. Proc. of the Intern. Sci. Conf. (Tomsk, Russia, 3-7 September, 2000)]. Tomsk: Scientific Technology Publishing House; 2000. pp. 204-208. In Russian
19. Savichev OG. Geochemical Parameters of Bog Waters in the Taiga Zone of the Western Siberia. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2015;4:47-57. In Russian

20. Rasskazov NM. Basic features of chemical composition of swamp water (On the example of the south-western part of Western Siberia. *Izvestia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2005;308(4):55-58. In Russian
21. Lepokurova OE, Shvartsev SL, Zyateva OF. Khimicheskiy sostav nekotorykh organogennykh tipov podzemnykh vod zapadnoy chasti Tomskoy oblasti [Chemical composition of some types of organogenic groundwater of the western part of Tomsk region]. In: *Hydrogeochemistry of sedimentary basins*. Proc. of the Russian Sci. Conf. (Tomsk, Russia, 13-17 November, 2007). Kontorovich AE, Osipov VI, Rasskazov NM, Ryzhenko BN, Shvartsev SL, Domrocheva EV, Novikov DA. Tomsk: Scientific Technology Publishing House; 2007. pp. 270-275. In Russian
22. Savichev OG. Chemical composition of bog waters of Tomsk region (Western Siberia) and interaction with mineral and organo-mineral compounds. *Izvestia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2009;314(1):72-77. In Russian
23. Shvartsev SL, Serebrennikova OV, Zdvizhkov MA, Savichev OG, Naimushina OS. Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast. *Geochemistry Int.* 2012;50(4):367-380. doi: [10.1134/S0016702912040076](https://doi.org/10.1134/S0016702912040076)
24. Naymushina OS, Shvartsev SL, Ses KV. Hydrochemistry and Composition of Hydrocarbons in the Waters of Peatlands in Western Siberia. *IERI Procedia*. 2014;8:119-124. doi: [10.1016/j.ieri.2014.09.020](https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.020)
25. Jones PD, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update. *Journal of Climate*. 2003;16(2):206-223. doi: [10.1175/1520-0442\(2003\)016<0206:HALSSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0206:HALSSA>2.0.CO;2)
26. Melnikov VP, Drozdov DS. Distribution of Permafrost in Russia. *Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide. NATO Science Series IV: Earth and Environmental Sciences*. 2006;65:69-80. doi: [10.1007/1-4020-4471-2_07](https://doi.org/10.1007/1-4020-4471-2_07)
27. Dobrovol'skaya TG, Golovchenko AV, Zvyagintsev DG, Inisheva LI, Kurakov AV, Smagin AV, Zenova GM. Funktsionirovanie mikrobnnykh kompleksov verkhovnykh torfyanikov – analiz prichin medlennoy destruktсии torfa [Functioning of the microbial complexes of oligotrophic bogs: analysis of the reasons for a slow peat degradation]. Moscow: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ.; 2013. 131 p. In Russian
28. Romanova EA. Tipologicheskaya karta bolot Zapadno-Sibirskoy ravniny [Typological map of mires of the West Siberian Plain. Scale: 1:2 500 000]. Moscow: GUGK Publ.; 1977. 1 p. In Russian
29. Romanova EA. Rastitel'nost' bolot [The vegetation of wetlands]. In: *Rastitel'nyy pokrov Zapadno-Sibirskoy ravniny* [The vegetation cover of the West Siberian Plain. Collective monograph]. Vorobyev VV, Begov AV, editors. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1985. pp. 138-160. In Russian
30. Ershov EHD. Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir' [Geocryology of the USSR. West Siberia]. Moscow: Nedra Publ.; 1989. 454 p. In Russian
31. Pokrovsky OS, Manasyov RM, Loiko SV, Shirokova LS, Krickov IA, Pokrovsky BG, Kolesnichenko LG, Kopysov SG, Zemtsov VA, Kulizhsky SP, Vorobyev SN, Kirpotin SN. Permafrost coverage, watershed area and season control of dissolved carbon and major elements in western Siberian rivers. *Biogeosciences*. 2015;12:6301-6320. doi: [10.5194/bg-12-6301-2015](https://doi.org/10.5194/bg-12-6301-2015)
32. Manasyov RM, Vorobyev SN, Loiko SV, Kritzkov IV, Shirokova LS, Shevchenko VP, Kirpotin SN, Kulizhsky SP, Kolesnichenko LG, Zemtsov VA, Sinkinov VV, Pokrovsky OS. Seasonal dynamics of organic carbon and metals in thermokarst lakes from the discontinuous permafrost zone of western Siberia. *Biogeosciences*. 2015;12:3009-3028. doi: [10.5194/bg-12-3009-2015](https://doi.org/10.5194/bg-12-3009-2015)

33. Yashin IM. Metodologiya i opyt izucheniya migratsii veshchestv [Methodology and study experience of migration of substances]. Moscow: MSKHA Publ.; 2001. 173 p. In Russian
34. Karavanova EI, Malinin MS. Spatial and temporal variation in the elemental composition of soil solution from gleyic peaty-podzolic soils. *Eurasian Soil Science*. 2007;40(8):830-838. doi: [10.1134/S1064229307080042](https://doi.org/10.1134/S1064229307080042)
35. Pristova TA, Zaboieva IV. Chemical composition of atmospheric precipitation and lysimetric water in an iron-illuvial podzol under mixed forest plantations in the Republic of Komi. *Eurasian Soil Science*. 2007;40(12):1316-1325. doi: [10.1134/S1064229307120083](https://doi.org/10.1134/S1064229307120083)
26. Malinina MS, Karavanova EI, Belyanina LA, Ivanilova SV. Comparative analysis of the composition of water extracts and soil solutions from peat gleyic podzolic soils of the Central Forest State Biosphere Reserve. *Eurasian Soil Science*. 2007;40(4):390-398. doi: [10.1134/S1064229307040047](https://doi.org/10.1134/S1064229307040047)
37. Bonito DM. *Trace elements in soil pore water: a comparison of sampling methods* [PhD Thesis, Environmental technology. Sanitary engineering]. England: University of Nottingham; 2005. 298 p.
38. Geibe CE, Danielsson R, van Hees PAW, Lundström US. Comparison of soil solution chemistry sampled by centrifugation, two types of suction lysimeters and zero-tension lysimeters. *Appl. Geochem*. 2006;21(12):2096-2111. doi: [10.1016/j.apgeochem.2006.07.010](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.07.010)
39. Schlotter D, Schack-Kirchner H, Hildebrand EE, von Wilpert K. Equivalence or complementarity of soil-solution extraction methods. *J. Plant Nutr. And Soil Sci*. 2012;175(2):236-244. doi: [10.1002/jpln.201000399](https://doi.org/10.1002/jpln.201000399)
40. Shamrikova EV, Kaverin DA, Pastukhov AV, Laptev EM, Kubik OS, Punegov VV. Water-soluble organic acids in cryomorphic peat soils of the southeastern Bol'shezemel'skaya tundra. *Eurasian Soil Science*. 2015;48(3):250-256. doi: [10.1134/S1064229315030102](https://doi.org/10.1134/S1064229315030102)
41. Pokrovsky OS, Shirokova LS, Manasypov RM, Kirpotin SN, Kulizhsky SP, Kolesnichenko LG, Loiko SV, Vorobyev SN. Thermokarst lakes of Western Siberia: a complex biogeochemical multidisciplinary approach. *International Journal of Environmental Studies*. 2014;71(5):733-748. doi: [10.1080/00207233.2014.942535](https://doi.org/10.1080/00207233.2014.942535)
42. Manasypov RM, Pokrovsky OS, Kirpotin SN, Shirokova LS. Thermokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia. *The Cryosphere*. 2014;8:1177-1193. doi: [10.5194/tc-8-1177-2014](https://doi.org/10.5194/tc-8-1177-2014)
43. Driscoll CT, Vanbreemen N, Mulder J. Aluminum chemistry in a forested spodosol. *Soil Science Society of America Journal*. 1985;49:437-444.

Received 4 May 2016; Revised 21 June 2016;

Accepted 4 July 2016; Published 21 September 2016

Author info:

Raudina Tatiana V, Postgraduate Student, Department of Soil Science and Soil Ecology, Junior Researcher of BIO-GEO-CLIM Laboratory, Tomsk State University, 36 Lenin Pr., Tomsk 634050, Russian Federation. E-mail: tanya_raud@mail.ru

Loyko Sergey V, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of BIO-GEO-CLIM Laboratory, Tomsk State University, 36 Lenin Pr., Tomsk 634050, Russian Federation. E-mail: s.loyko@yandex.ru

Krickov Ivan V, Postgraduate Student, Department of Soil Science and Soil Ecology, Junior Researcher of BIO-GEO-CLIM Laboratory, Tomsk State University, 36 Lenin Pr., Tomsk 634050, Russian Federation. E-mail: krickov_ivan@mail.ru

Lim Artem G, Postgraduate Student, Department of Soil Science and Soil Ecology, Junior Researcher of BIO-GEO-CLIM Laboratory, Tomsk State University, 36 Lenin Pr., Tomsk 634050, Russian Federation. E-mail: lim_artiom@mail.ru