

Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
Новосибирский государственный аграрный университет
Общество почвоведов имени В.В. Докучаева

ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ: ВЫЗОВЫ XXI века

**Сборник материалов Всероссийской научной конференции
с международным участием, посвященной 110-летию
выдающегося организатора науки
и первого директора ИПА СО РАН
Романа Викторовича Ковалева**

4–8 декабря 2017 г., г. Новосибирск

Часть I

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2017

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАДМЕРЗЛОТНЫХ ВОД МЕРЗЛЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

С.В. Лойко, Т.В. Раудина, С.П. Кулижский

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия,
s.loyko@yandex.ru*

Аннотация. В многолетнемерзлых заболоченных ландшафтах гидрологическая связь и транспорт элементов между болотными микроландшафтами осуществляется в основном через надмерзлотные воды, являющиеся надёжным индикатором изменений биогеохимических процессов, в том числе климатически обусловленных. Нами были отобраны образцы вод в торфяных почвах Западной Сибири вдоль 640-км широтного профиля. Измерялись концентрации CO_2 , CH_4 , растворенного углерода, макро- и микроэлементов. Несмотря на ожидаемое снижение интенсивности мобилизации данных компонентов из почвы и растительного опада в надмерзлотные воды, в связи со снижением среднегодовой температуры и мощности активного слоя к северу, многие компоненты не продемонстрировали достоверного уменьшения концентраций от $62,2^\circ \text{ с. ш.}$ до $67,4^\circ \text{ с. ш.}$

Ключевые слова: геохимия надмерзлотных вод, торфяные почвы, мерзлые болота.

Актуальность. Биогеохимия углерода и связанных с ним элементов в поверхностных водах районов вечной мерзлоты является актуальной темой научных исследований, что главным образом мотивируется необходимостью количественного прогнозирования реакции водных и наземных экосистем на продолжающееся таяние многолетней мерзлоты. До настоящего времени большинство исследований сосредоточено либо на водных, либо на наземных частях континентальных вечномерзлых экосистем, с незначительным количеством работ, посвященных биогеохимии почвенных поровых, надмерзлотных или подземных вод в ландшафтах с вечной мерзлотой [1–4]. Для восполнения данного пробела и была выполнена настоящая работа.

Объекты и методы исследования. Ключевые участки расположены на севере Западной Сибири в пределах тундры, лесотундры и северной тайги в зонах сплошного, прерывистого и спорадического распространения многолетнемерзлых пород: «Тазовский» ($67,37^\circ \text{ с.ш.}; 78,68^\circ \text{ в.д.}$), «Пангоды» ($65,87^\circ \text{ с.ш.}; 74,96^\circ \text{ в.д.}$), «Ханымей» ($63,78^\circ \text{ с.ш.}; 75,61^\circ \text{ в.д.}$) и «Когалым» ($62,25^\circ \text{ с.ш.}; 74,19^\circ \text{ в.д.}$). Последний захватывает талые олиготрофные болота подзоны северной тайги. Самый северный участок приурочен к мерзлым полигональным болотам южной тундры, а участки «Пангоды» и «Ханымей» располагаются на мерзлых бугристых болотах северной тайги. В качестве объекта выбраны надмерзлотные воды торфяных почв, в которых определены гидрохимические параметры (CO_2 , CH_4 , углерода растворенных органических и неорганических веществ (УРОВ, УРНВ), макро- и микроэлементов, анионов), с целью выявления их трендов и изменчивости по микроландшафтам вдоль широтного градиента криолитозоны Западной Сибири.

Отбор проб надмерзлотных вод проводился вдоль широтного трансекта с учетом основных болотных микроландшафтов: торфяные бугры / полигоны, мочажины, просадки / трещины. Надмерзлотные верховодки получали из деятельного слоя торфяных (мерзлотных) почв (мощность торфа более 50 см) путем самоизливания в почвенный разрез. Пробы для CH_4 и CO_2 были отобраны только во влажных просадках и мерзлотных трещинах с поверхности. Образцы отобранных вод непосредственно в полевых условиях пропускались через шприц-насадки с одноразовыми фильтрами MILLEX ($0,45\text{-мкм}$) и консервировались. При определении химических и физико-химических показателей использовались следующие методы: pH – потенциометрический; удельная электропроводность – кондуктометрический; CH_4 и CO_2 – газовая хроматография (Bruker GC-456); содержание углерода растворенных органических (УРОВ) и не-

органических (УРНВ) веществ – каталитическое окисление (SHIMADZU TOC-VCSN, Япония); SO_4^{2-} , Cl^- – ионная хроматография (HPLC, DIONEX ICS-2000); главные катионы (Na, Mg, Ca, K) и микроэлементы – масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS, Agilent 7500 CE, США). Для математической и графической обработки данных использовали программы MS Excel 2010 и STATISTICA 8.0.

Обсуждение результатов. Применение непараметрической статистики (U-критерий Манна-Уитни) для оценки различий между средними значениями УРОВ, макро- и микроэлементов показало, что большое количество элементов (УРОВ, SO_4^{2-} , Ca, P, Al, Fe, Cu, Co, Zn, Mn, Pb, V, As, Sb, Mo, Th, U) демонстрирует значительные различия в содержании между болотными микроландшафтами на всех ключевых участках. Концентрации CO_2 в 1–2,5 раз выше в мерзлотных просадках и трещинах по сравнению с мочажинами. CH_4 показал более сложное поведение в отрицательных формах микрорельефа, а именно, в КУ «Ханымей» CH_4 в 1,4 раза выше в мочажинах по сравнению с просадками, но этот коэффициент уменьшается до 0,6 и 0,4 в Пангодах и Тазовском, соответственно.

Минимальный контраст в распределении элементов между бугром и мочажинной наблюдается на более южном КУ (Когалым), а максимальное количество различий встречалось на КУ «Пангоды». Концентрации УРОВ и Si в 1,5–2 раза выше ($p=0,013\text{--}0,043$) в надмерзлотных водах бугров/полигонов по сравнению с мочажинами на всех участках. Содержание Al и Fe в 0,4–2,1 и 0,3–1,3 раза, соответственно, выше на бугре по сравнению с мочажинной. Значения коэффициентов 1,4 для Sr, 1,3 для Co и $0,8\pm 0,2$ для Zn, V, As показали большие концентрации данных элементов в положительных формах рельефа по сравнению с отрицательными. Другие элементы, такие как Sb ($0,8\pm 0,2$), Mo ($0,3\text{--}1,4$), La ($1,8\text{--}0,3$), Ba ($0,8\text{--}1,3$), Mn ($0,3\text{--}1,8$), Pb ($0,4\text{--}0,9$), не продемонстрировали систематически значимых различий в надмерзлотной воде между положительными и отрицательными формами микрорельефа.

Концентрации элементов в надмерзлотных водах имеют три типа широтных трендов: (i) Возрастание концентраций к северу ($R^2>0,5$) для CO_2 , УРОВ, Mg, Ca, Si, Al, Fe, Ti, Cr, Li, Rb, V, Mn, Ni, Co, Ba, Sr, Cd, Ga, As, Zr, Nb, Mo, все редкоземельные элементы, Hf, Tl, Th и U. Их концентрации возрастают в 2–5 раз от зоны спорадического к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (рис. 1). (ii) Отсутствие какой-либо статистически значимой тенденции ($R^2<0,5$) в широтных изменениях для CH_4 , электропроводности, pH, УРНВ, Cl^- , SO_4^{2-} , Cs, Cu, Zn, (Pb, Sb), показанной на рисунке 2; (iii) Уменьшение концентраций к северу ($R^2>0,4$) для P, Na, K, Pb, Sb и W (рис. 2).

Повышение концентраций УРОВ к северу, а не понижение как предполагалось изначально, может быть связано с тем, что в зонах сплошного и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород УРОВ в меньшей степени подвержен биodeградации, чем в зоне спорадической мерзлоты, что подтверждается некоторыми исследованиями [5]. Экспорт УРОВ из почв сильно контролируется временем пребывания воды и путями перемещения по профилю. Так, надмерзлотные воды в зоне непрерывной мерзлоты остаются в течение длительного периода времени в замороженном состоянии, и поэтому в теплое время года они в меньшей степени заменяются снеготаянием и дождевой водой по сравнению с водами прерывистой и спорадической зон [6]. В результате в зоне непрерывной мерзлоты надмерзлотные воды имеют наибольшее время пребывания в профиле почв. Гидрологическая связь мерзлого болота с окружающими водными объектами и временными водотоками также ниже на севере, чем на юге [6]. Таким образом, в северных регионах отмечается более длительный контакт между слоями торфа и водой, тогда как на юге она довольно быстро передвигается с внутрипочвенным стоком.

Содержание основных макро- и микроэлементов контролируется концентрациями УРОВ, Al и Fe, поэтому в основном их содержание возрастает также к северу. Органо-Al-Fe коллоиды являются основными носителями многих микроэлементов в водах Севера с высоким содержанием гуминовых кислот и низким общим количеством растворенных элементов [7, 8]. В изученных надмерзлотных водах концентрация Al значительно коррелирует со многими микроэлементами: Ti, V, Cr, Co, Ni, Ga, As, Sr, Zr, Nb, редкоземельными (PЗЭ), Hf, и Th.

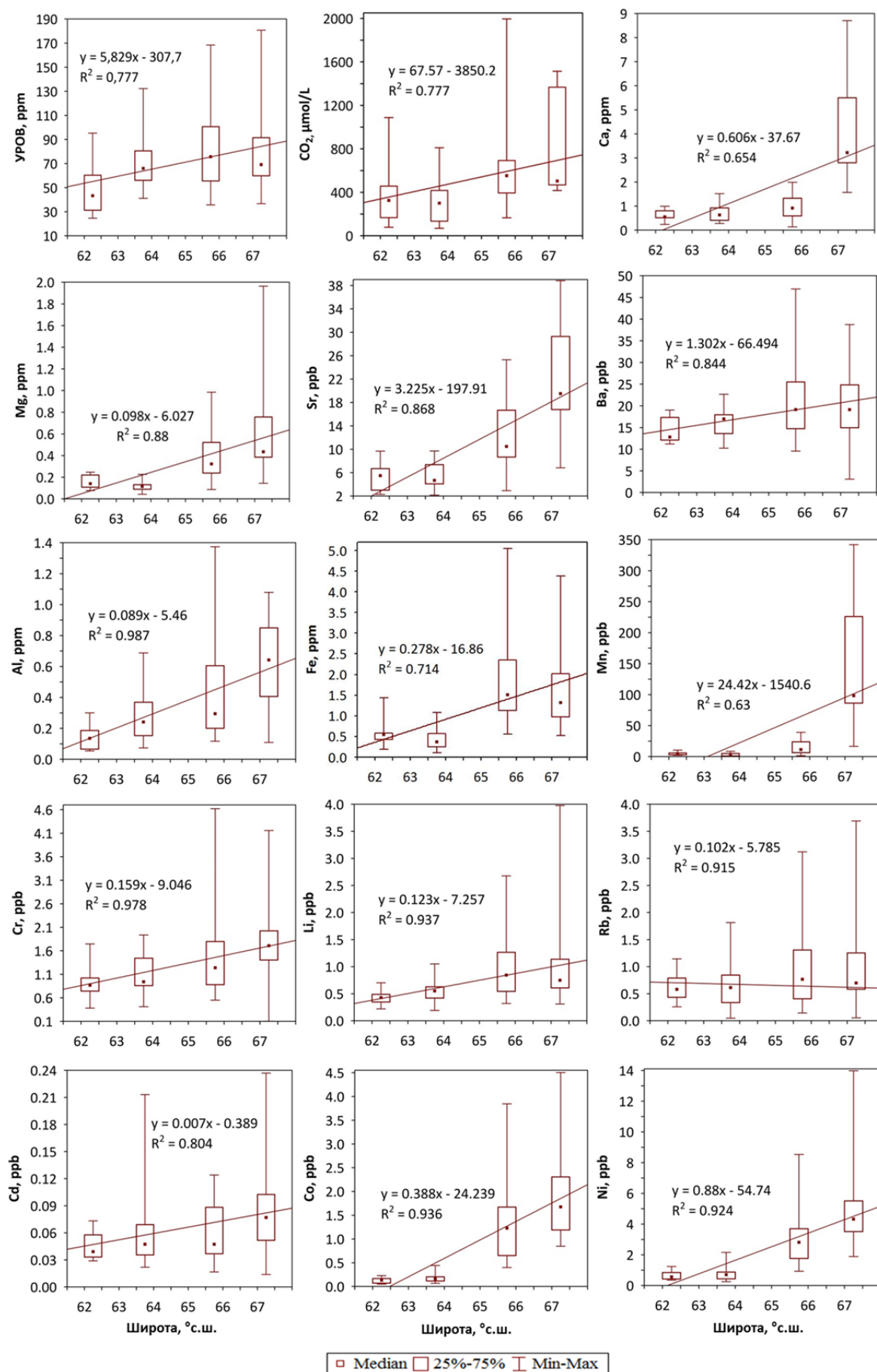


Рис. 1. Усредненные по всем микроландшафтам концентрации элементов

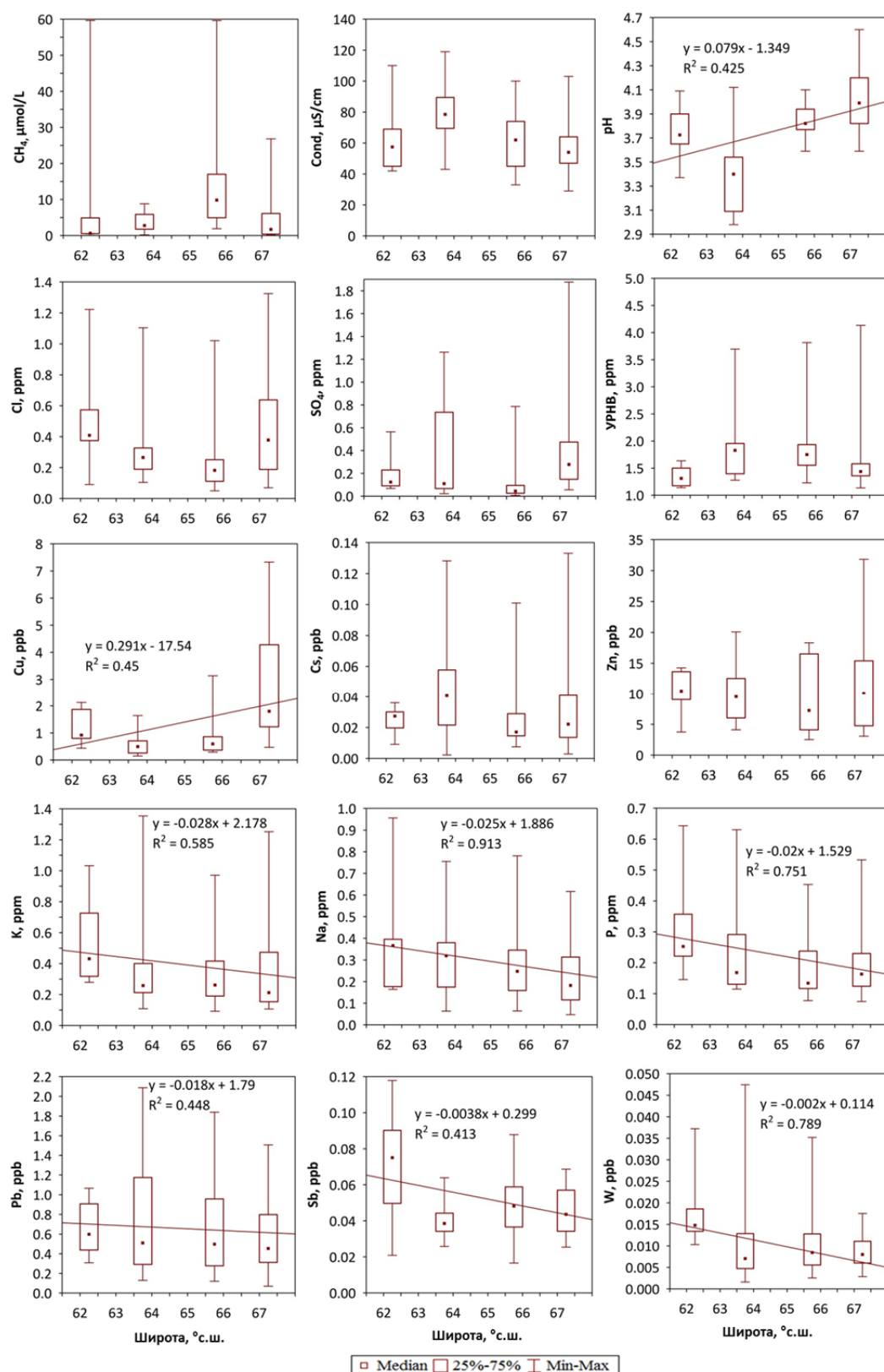


Рис. 2. Усредненные по всем микроландшафтам концентрации элементов

Учитывая, что минеральная часть, подстилающая торфа заморожена, а концентрации литогенных элементов (Si, Al, V, Sr, РЗЭ, Zr, Hf, Th) в надмерзлотных водах торфяных бугров в 1,3–3 выше, чем в мочажинах и просадках, то наиболее вероятным источником литогенных элементов является атмосферное осаждение силикатной пыли, а не выветривание из подстилающих минеральных горизонтов [9].

Так как изученные воды кислые ($pH \leq 4$), твердые аэрозольные частицы могут проявлять высокую реакционную способность в торфяной толще [10]. И наоборот, такие как Na, Cl⁻, SO₄²⁻, Cs, W, поступающие на поверхность торфа из атмосферы в растворимой форме, и другие (K, Rb, Cu, Zn, Sb, Cd, Pb) демонстрируют постоянный или уменьшающийся на север тренд концентраций, что может быть связано с поглощением и закреплением этих элементов мхами, лишайниками (особенно K, Rb, Zn).

Поведение элементов в надмерзлотных водах Западной Сибири отражает два основных процесса, происходящих в пределах торфяного профиля: 1) мобилизация литогенных элементов из силикатной пыли и нерастворимых атмосферных аэрозолей; 2) высвобождение макро-, микроэлементов, тяжелых металлов из торфяной толщи, растительности и их миграция до границы мерзлоты. Первый процесс контролируется присутствием органических и органо-Al коллоидов, усиливается на север при увеличении содержания УРОВ в воде. Второй не зависит от УРОВ, но тесно связан с торфом (объемной массой и его реакционной способностью), интенсивностью атмосферного осаждения на поверхность мхов, лишайников. Так как концентрации УРОВ в водосборе торфяного болота снижается с увеличением стока [11], то более высокие концентрации элементов наблюдаются в водах на буграх и полигонах по сравнению с мочажинами, просадками. Причиной может являться криоконцентрация растворенных веществ при замораживании почвенной воды, которая сильнее выражена для бугров [12] по сравнению с мочажинами, а также на севере.

Заключение. Полученные результаты показали, что состав надмерзлотных вод различен и изменяется как по микроландшафтам болотного массива, так и вдоль изученного широтного профиля. Влияние температуры и мощности деятельного слоя имеет вторичное значение относительно времени пребывания воды в торфе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-34-60203_мол-а-дк).

Литература

1. Leach J.A., Larsson A., Wallin M.B., Nilsson M.B., Laudon H. Twelve year interannual and seasonal variability of stream carbon export from a boreal peatland catchment // J. Geophys. Res. Biogeosciences. 2016. V. 121. P. 1851–1866.
2. Swindles G.T., Morris P.J., Mullan D., Watson E.J. et. al. The long-term fate of permafrost peatlands under rapid climate warming // Scientific Reports 5. 2015. № 17951.
3. Jantze E. J., Lyon S.W., Destouni, G. Subsurface release and transport of dissolved carbon in a discontinuous permafrost region // Hydrol. Earth Syst. Sc. 2013. V. 17. P. 3827–3839.
4. Raudina T.V., Loiko S.V., Lim A.G., Krickov I.V., Shirokova L.S., Istigechev G.I. Dissolved organic carbon and major and trace elements in peat porewater of sporadic, discontinuous, and continuous permafrost zones of western Siberia // Biogeosciences. 2017. V. 14. P. 3561–3584.
5. Kawahigashi M., Kaiser K., Kalbitz K., Rodionov A., Guggenberger G. Dissolved organic matter in small streams along a gradient from discontinuous to continuous permafrost // Glob. Change Biol. 2004. V. 10. P. 1576–1586.
6. Новикова С.М. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. СПб.: BBM, 2009. 536 с.
7. Pokrovsky O.S., Manasypov R.M., Loiko S.V., Shirokova L.S. Organic and organo-mineral colloids of discontinuous permafrost zone // Geochimica Cosmoch. Acta. 2016. V. 188. P. 1–20.
8. Köhler S.J., Lidman F., Laudon H. Landscape types and pH control organic matter mediated mobilization of Al, Fe, U and La in boreal catchments // Geochim. Cosmochim. Acta 2014. V. 135. P. 190–202.
9. Stepanova V.M., Pokrovsky O.S., Viers J., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K. Major and trace elements in peat profiles in Western Siberia: impact of the landscape context, latitude and permafrost coverage // Appl. Geochem. 2015. V. 53. P. 53–70.
10. Shotyk W., Rausch N., Nieminen T. M., Ukonmaanaho L., Krachler M. Isotopic composition of Pb in peat and porewaters from three contrasting ombrotrophic bogs in Finland: Evidence of chemical diagenesis in response to acidification // Environ. Sci. Technol. 2016. V. 50. P. 9943–9951.
11. Olefeldt D., Roulet N. T. Effects of permafrost and hydrology on the composition and transport of dissolved organic carbon in a subarctic peatland complex // J. Geophys. Res. 2012. V. 117.

12. Коронатова Н.Г., Степанова В.А., Косых Н.П. Температурный режим верхнего слоя мерзлых болот Западной Сибири // XI Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Тезисы докладов. Томск, 2015. С. 43–45.

HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF THE SUPRA-PERMAFROST WATERS OF THE FROZEN BOGS OF WESTERN SIBERIA

S.V. Loyko, T.V. Raudina, S.P. Kulizhsky

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, s.loyko@yandex.ru

DOI: 10.17223/9785946216456/24

Summary. In the permafrost environment, maximal hydraulic connectivity and element transport from the soil to the river and lake occurs via supra-permafrost waters. Therefore, they are a reliable indicator of changes in biogeochemical processes, including climatically conditioned. We sampled stagnant supra-permafrost waters in peat soils of Western Siberia across a substantial gradient of climate (-4.0 to -9.1°C MAT), active layer thickness (ALT) and permafrost coverage, from 62.2°N to 67.3°N of sporadic, discontinuous and continuous permafrost zones. We analyzed CO_2 , CH_4 and dissolved organic carbon (DOC), major and trace elements (TE) in soil pit samples corresponding to several typical micro landscapes. Despite an expected decrease of the intensity of DOC and TE mobilization from the soil and vegetation litter to the suprapermafrost water with the increase of permafrost coverage, decrease of annual temperature and ALT, the DOC, CO_2 , CH_4 and many major and trace elements did not exhibited any distinct decrease in concentration along the latitudinal transect from 62.2°N to 67.4°N .

Key words: suprapermafrost waters, Western Siberian north, peat soils, frozen bogs.

УДК 631.48

DOI: 10.17223/9785946216456/24

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕГОСОЛИ В ПРЕДБАЙКАЛЬЕ

О.Г. Лопатовская

Биолого-почвенный факультет ИГУ, 664011, Иркутск, Россия, lopatovs@gmail.com

Аннотация. В степях Приольхонья в Предбайкалье описана почва – регосо́ль. Рассмотрено изменение физико-химических свойств почвы, выявлена история развития и сделан прогноз на ее существование. Приводятся результаты комплексного исследования почвы с использованием современных методов, что позволяет выявить важные свойства почвы, характеризующие ее как засоленную, карбонатную и содержащую большое количество обменных оснований.

Ключевые слова: почва, регосо́ль, физические и химические свойства.

В Предбайкалье регосо́ль является интразональной почвой, встречается среди каштановых почв, солончаков и солонцов. Наиболее значимые работы, отражающие свойства регосо́ли Таготского гидролакколита были сделаны при описании геологических отложений и для палеореко́нструкции климата [4, 11]. Для этого в конце прошлого столетия были проведены физико-химические анализы, характеризующие древние отложения. В настоящее время необходимо обновить имеющиеся данные с целью получить более детальную характеристику почвы, так как регосо́ли представляют собой интересный объект для исследований в плане эволюции, классификации почв, влияния криогенеза и климатических условий на формирование почв Предбайкалья.

Целью работы является выявление особенностей формирования этой почвы на озерных отложениях и выявить физико-химические свойства. В степном Приольхонье на абсолютных высотах от 557 до 675 м компактно, группируясь в цепочки, расположены минеральные (соленые) озера. Они имеют небольшие размеры, вытянутую или округлую форму. Вокруг Таготского гидролакколита имеются два озера термокарстового происхождения. Располагаясь близко друг от друга, озера незначительно различаются по минерализации и компонентному составу.