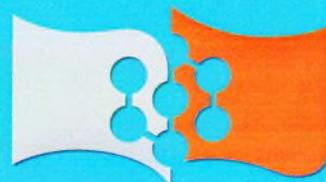
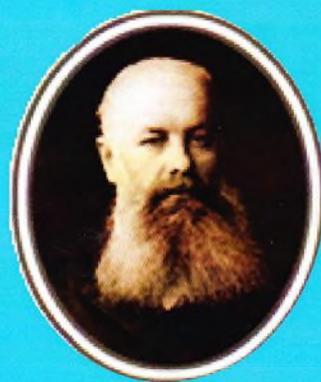


**Почвенно-экологические процессы
в естественных и антропогенно-преобразованных
ландшафтах Сибири и Дальнего Востока**

*Материалы II Всероссийской научно-практической конференции
молодых ученых*

25–27 апреля 2018 г.



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

Красноярск 2018

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Министерство образования и науки Российской Федерации
Красноярское отделение общества почвоведов имени В.В. Докучаева
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

**ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ
И АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ЛАНДШАФТАХ СИБИРИ
И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

*Материалы II Всероссийской научно-практической конференции
молодых ученых*

25-27 апреля 2018 г.

Красноярск 2018

Ответственные за выпуск:

д.б.н., профессор *В.В. Чупрова*

д.б.н., профессор *Н.Л. Кураченко*

д.б.н., профессор *И.Н. Безкоровайная*

П 65 Почвенно-экологические процессы в естественных и антропогенно-преобразованных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока: мат-лы II Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (25-27 апреля 2018 г.). – Красноярск: Изд-во Красноярского ГАУ, 2018. – 156 с.

Издание включает в себя доклады ведущих специалистов и молодых ученых по исследованию почвенно-экологических процессов в естественных и антропогенно-преобразованных ландшафтах Сибири.

Предназначено для студентов, аспирантов, научных сотрудников, преподавателей естественно-научных специальностей.

ББК 40.3

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ТОРФЯНЫХ ПОЧВ МЕРЗЛОГО БУГРИСТОГО БОЛОТА
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

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

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Изучены гидрохимические параметры и элементный состав вод торфяных почв мерзлого бугристого болота Западной Сибири. Установлено, что большое количество элементов (РОУ, Al, Fe, Cu, Sr, Co, Zn, Mn, Pb, B, Na, V, Ga, Cu, Cs, As, Sb, Mo, Th, U) в почвенных водах демонстрирует значительные различия в содержании между различными формами микрорельефа. Так, их концентрации систематически выше на буграх относительно мочажин (в 1,4 раза, при $p < 0,05$), тогда как другие элементы не проявляли существенной разницы в зависимости от микрорельефа. Так как концентрации РОУ в водосборе торфяного болота снижается с увеличением стока, то более короткое время пребывания воды в мочажинах и, соответственно более высокий сток и гидравлическая проводимость отрицательных форм рельефа по сравнению с положительными, объясняет преобладание РОУ и соответственно других элементов в водах бугров по сравнению с мочажинами и просадками.

Ключевые слова: химический состав, почвенные воды, торфяные почвы, мерзлые болота, север Западной Сибири.

Hydrochemical parameters and elemental composition of peat soils (Histosols) waters of frozen mound bog (palsa) in Western Siberia have been studied. It is found that a large number of elements (DOC, Al, Fe, Cu, Sr, Co, Zn, Mn, Pb, B, Na, V, Ga, Cu, Cs, As, Sb, Mo, Th, U) in soil waters show significant differences in the content between different forms of microrelief. Thus, their concentrations are systematically higher on the mound relative to the hollow (in 1,4 times, $p < 0.05$), while the other elements did not show a significant difference depending on the microrelief. Since the concentration of DOC in the catchment area of the peat bog decreases with the increase in runoff, then the shorter time the water stay in the hollow and, correspondingly, the higher runoff and hydraulic conductivity of the negative forms of the relief in comparison with the positive ones, explains the predominance of DOC and other elements in the waters of the mounds in comparison with hollow and subsidence.

Keywords: chemical composition, soil water, peat soils (Histosols), frozen bogs (palsa), Western Siberia.

Избыточное увлажнение и наличие многолетнемерзлых пород обуславливает распространение специфических криогенных ландшафтов с широким развитием торфяных почв, аккумулирующих в себе большое количество влаги особого состава. Наличие многолетнемерзлых пород приводит к ограниченному вкладу грунтовых вод в формирование стока рек криолитозоны, поэтому воды этих почв выступают связующим звеном между потоками вещества в реках и процессами, происходящими в междуречных ландшафтах, обеспечивая транспорт углерода и других элементов в речную сеть [1–5].

На данный момент роль поверхностных и подземных вод болотных систем Западно-Сибирской равнины в болотном почвообразовании общепризнана, но их химический состав изучен в большей степени в болотах «талой» зоны [6–11; и другие]. Информации же, касающейся химического состава вод торфяных почв зоны многолетней мерзлоты, недостаточно [12–16; и другие]. Поэтому почвенные воды были выбраны в качестве объекта исследований, а целью работы явилось выявление закономерностей распределения химического состава вод торфяных почв основных форм микрорельефа на мерзлом бугристом болоте Западной Сибири.

Район исследования расположен на севере Западно-Сибирской равнины в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа. Ключевой участок заложен на мерзлых бугристых болотах северной тайги (окрестности п. Ханымей; 63°47' N, 75°38' E) и

представляет собой плоский водораздельный участок под мохово-кустарничково-лишайниковыми сообществами. Климат резко континентальный со среднегодовой температурой $-5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков – 540 мм. Коэффициент увлажнения 1,5 [17]. Почвенно-мерзлотная схема болота представлена на рисунке 1.

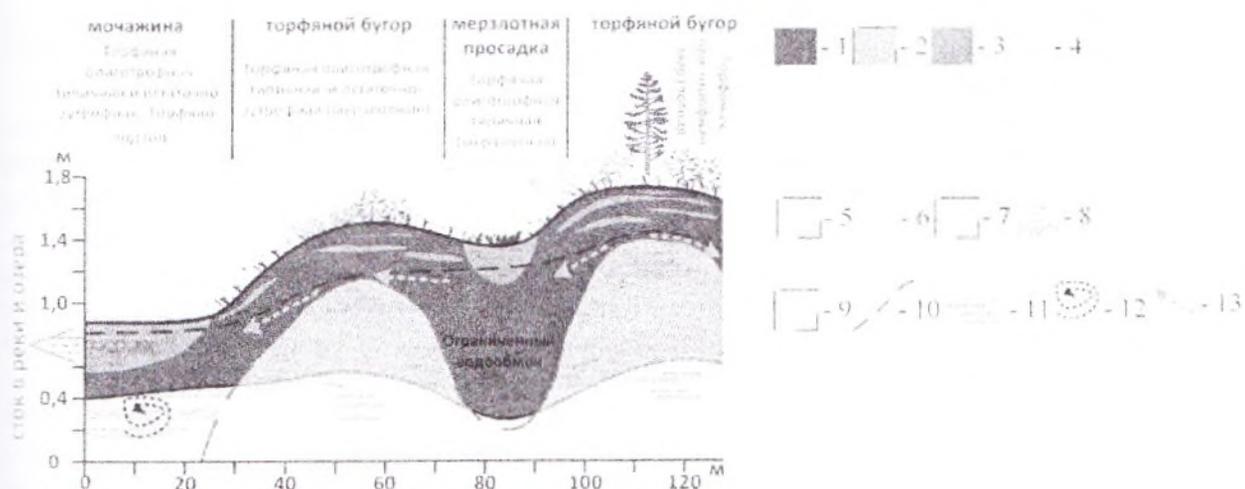


Рисунок 1 – Почвенно-мерзлотная схема изученных плоскобугристого (А) и полигонального мерзлых болот (В): 1, 2 – лишайниково-мохово-древесный (гравяной) торф средней степени разложения, при этом 2 – мерзлый; 3 – моховой торф низкой степени разложения; 4, 5 – иллювиально-железисто-гумусовый горизонт, при этом 5 – мерзлый; 6, 7 – песчаные или среднесуглинистые отложения, при этом 7 – мерзлые; 8, 9 – тяжелосуглинистые отложения, при этом 9 – мерзлые; 10 – граница уровня болотных вод в августе; 11 – прослой льда; 12 – признаки криотурбаций в почве; 13 – направления движения внутрипочвенных вод.

Отбор почвенных вод осуществлялся из деятельного слоя торфяных почв с учетом основных форм болотного микрорельефа, включающего торфяные бугры, мочажины и мерзлотные просадки/трещины, двумя способами: 1) отбором самоизливающихся вод в почвенный разрез (надмерзлотные верховодки), вскрывающий верхнюю часть горизонта надмерзлотной верховодки; 2) вакуумной фильтрацией ($\approx 80\text{ кПа}$) с помощью керамических свечей SDEC (поры 2 мкм). Образцы непосредственно в полевых условиях пропускались через шприц-насадки с одноразовыми фильтрами MILLEX (0,45-мкм) 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 (РОУ) и неорганического (РНУ) углерода – каталитическое окисление (SHIMADZU TOC-VCSN, Япония); SO_4^{2-} , Cl^- – ионная хроматография (HPLC, DIONEX ICS-2000); макро- и микроэлементы – масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS, Agilent 7500 CE, США). Для математической и графической обработки данных использовались возможности пакета программ MS Excel 2010 и STATISTICA 8.0.

Изученные воды торфяных почв отличаются малой общей минерализацией ($\leq 80\text{ мг/л}$). Количество хлор- и сульфат-ионов низкое, в среднем для почвенных растворов $\text{Cl}^- = 0,04\text{--}1,53\text{ мг/л}$; $\text{SO}_4^{2-} = 0,08\text{--}1,67\text{ мг/л}$ и для верховодок $\text{Cl}^- = 0,05\text{--}1,38\text{ мг/л}$; $\text{SO}_4^{2-} = 0,07\text{--}1,88\text{ мг/л}$. Наблюдается выраженный дефицит растворенного кислорода (от 7–65% насыщения) на фоне повышенного содержания углекислого газа (120–1996 мкмоль/л), высокая цветность, довольно кислая реакция среды (pH от 3,0 до 5,5). Верховодки обладают наибольшей кислотностью вследствие увеличения с глубиной времени взаимодействия воды с органическими и органоминеральными соединениями.

Воды характеризуются достаточно высокими концентрациями РОУ (24,6–195,2 мг/л). В верховодках, отобранных в почвах бугров, просадок среднее его содержание несколько

выше по сравнению с растворами в аналогичных почвах. Внутривершинное распределение РОУ растворов в пределах каждой болотной микроформы показало его максимальные значения в нижней части деятельного слоя на буграх, просадках и в верхней части мочажин.

Почвенные воды мочажин отличаются наименьшими значениями РОУ по сравнению с другими болотными микроформами. Согласно статистическому критерию (U-критерия Манна-Уитни) наблюдаются значительные различия концентраций РОУ растворов и верховодок в почвах между выпуклыми и вогнутыми элементами микрорельефа. Так, РОУ примерно в 1,5 раз выше в почвенных водах бугров по сравнению с мочажинами ($p = 0,013 - 0,043$). Значения можно расположить в следующий ряд: бугор \geq просадка $>$ мочажина. Такое поведение РОУ может быть связано, прежде всего, со временем нахождения воды в торфе и путями ее миграции. Так, концентрация РОУ в водосборе торфяного болота снижается с увеличением стока [2, 18], поэтому более короткое время пребывания воды в мочажинах и, соответственно, более высокий сток и гидравлическая проводимость отрицательных форм по сравнению с положительными, объясняет преобладание РОУ в водах бугров по сравнению с мочажинами, просадками. Помимо этого, криоконцентрация растворенных веществ при замораживании почвенной воды [19–20] намного сильнее выражены на буграх [21] по сравнению с мочажинами.

Такой показатель как $SUVA_{280nm}$ в почвенных водах остается достаточно постоянным независимо от типа болотной микроформы ($SUVA \approx 4$). Средние значения $SUVA$ колеблются от 2,34–3,39 в почвенных растворах и от 2,88–3,77 в верховодках.

Основные макро- и микроэлементы контролируются концентрациями РОУ, Al или Fe, поэтому в основном их содержания выше также на буграх. Содержание Al и Fe было в 2,1–0,4 и 1,3–0,3 раза выше в почвенных водах на бугре по сравнению с мочажиной. Значения Sr, Co и Zn, V, As, Si в верховодках и B, Na, V, Ga, Cu, Cs, Th и РЗЭ в растворах показали в общем, преобладание в положительных формах рельефа по сравнению с отрицательными. Другие элементы, такие как Sb, Mo, La, Ba, Mn и Pb не продемонстрировали систематически значимого различия в почвенной воде положительных или отрицательных форм рельефа.

Органо-Al-Fe коллоиды являются основными носителями многих микроэлементов в водах зоны вечной мерзлоты с высоким содержанием гуминовых кислот и низким общим количеством растворенных частиц, что характерно для бореальных регионов [22–23]. Так, в почвенных водах концентрация Al значительно коррелирует со многими микроэлементами, такими как Ti, V, Cr, Co, Ni, Ga, As, Sr, Zr, Nb, редкоземельными (РЗЭ), Hf, и Th. Учитывая, что минеральная часть, подстилающая торфяную толщу замораживается, а концентрации литогенных элементов (Si, Al, V, Sr, РЗЭ, Zr, Hf, Th) в 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 [24–26]. Поскольку изученные воды сильно кислые ($pH \leq 4$), твердые аэрозольные частицы могут проявлять высокую реакционную способность в торфяной толще, как путем объемного растворения и десорбции металлов [27].

Таким образом, полученные результаты показали, что большое количество элементов (РОУ, Al, Fe, Cu, Sr, Co, Zn, Mn, Pb, B, Na, V, Ga, Cu, Cs, As, Sb, Mo, Th, U) в почвенных водах демонстрирует значительные различия в содержании между различными формами микрорельефа. Так, их концентрации были систематически выше на буграх относительно мочажин (в 1,4–1,0 раза, при $p < 0,05$), тогда как другие элементы не проявляли существенной разницы в зависимости от микрорельефа. Так как концентрации РОУ в водосборе торфяного болота снижается с увеличением стока, то более короткое время пребывания воды в мочажинах и, соответственно более высокий сток и гидравлическая проводимость отрицательных форм рельефа по сравнению с положительными, объясняет преобладание РОУ и соответственно других элементов в водах бугров по сравнению с мочажинами, просадками.

Список литературы

1. Algesten G. Role of lakes for organic carbon cycling in the boreal zone / G. Algesten, S. Sobek, A.-K. Bergstrom, A. Agren, L. J. Tranvik, M. Jansson // *Global Change Biol.* – 2003. – № 10. – P. 141–147.
2. Новиков С. М. О природе и классификации бугристых болот / С. М. Новиков, Л. И. Усова // *Труды ГГИ.* – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – Вып. 261. – С. 3–13.
3. Ilina S. M. Size fractionation and optical properties of dissolved organic matter in the continuum soil solution-bog-river and terminal lake of a boreal watershed / S. M. Ilina, O. Yu. Drozdova, S. A. Lapitskiy, Yu. V. Alekhin, V. V. Demin, Yu. A. Zavgorodnyaya, L. S. Shirokova, J. Viers, O. S. Pokrovsky // *Organic Geochemistry.* – 2014. – Vol. 66. – P. 14–24.
4. Pokrovsky O. S. Basalts weathering in Central Siberia under permafrost conditions / O. S. Pokrovsky, J. Schott, D. I. Kudryavtzev, B. Dupré // *Geochim. Cosmochim. Ac.* – 2005. – Vol. 69. – P. 5659–5680.
5. Manasypov R. M. Seasonal dynamics of organic carbon and metals in thermokarst lakes from the discontinuous permafrost zone of western Siberia / R. M. Manasypov, S. N. Vorobyev, S.V. Loiko, I. V. Kritzkov, L. S. Shirokova, V. P. Shevchenko, S. N. Kirpotin, S. P. Kulizhsky, L. G. Kolesnichenko, V. A. Zemtsov, V. V. Sinkinov, Pokrovsky O. S. // *Biogeosciences.* – 2015. № 12. – P. 3009–3028.
6. Рассказов Н. М. Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-востока Западной Сибири) // *Известия ТПУ.* – 2005. – Т. 308, № 4. – С. 55–58.
7. Копцик Г. Н. Изменения состава почвенных растворов подзолов под воздействием атмосферного промышленного загрязнения / Г. Н. Копцик, Н. В. Лукина, И. Е. Смирнова // *Почвоведение.* – 2007. – № 2. – С. 223–234.
8. Лепокурова О. Е. Химический состав некоторых органогенных типов подземных вод западной части Томской области / О. Е. Лепокурова, С. Л. Шварцев, О. Ф. Зятева // *Гидрогеохимия осадочных бассейнов.* Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – С. 270–275.
9. Караванова Е. И. Пространственная и временная вариабельность элементного состава почвенных растворов торфянисто-подзолистых глееватых почв / Е. И. Караванова, М. С. Малинина // *Почвоведение.* – 2007. – № 8. – С. 927–936.
10. Савичев О. Г. Геохимические показатели болотных вод в таежной зоне Западной Сибири // *Известия РАН. Серия географическая.* – 2015. – № 4. – С. 47–57.
11. Naymushina O. S. Hydrochemistry and Composition of Hydrocarbons in the Waters of Peatlands in Western Siberia / O. S. Naymushina, S. L. Shvartsev, K. V Ses // *IERI Procedia.* – 2014. – Vol. 8. – P. 119–124.
12. Pokrovsky O. S. Trace element fractionation and transport in boreal rivers and soil porewaters of permafrost-dominated basaltic terrain in Central Siberia / O. S. Pokrovsky, J. Schott, B. Dupre // *Geochim. Cosmochim. Ac.* – 2006. – Vol. 70. – P. 3239–3260.
13. Reynolds B. Comparison of field techniques for sampling soil solution in an upland peatland / P. A. Stevens, S. Hughes, S. A. Brittain // *Soil Use and Management.* – 2004. – Vol. 20, № 4. – P. 454–456.
14. Koch J. C. Hydrologic controls on the transport and cycling of carbon and nitrogen in a boreal catchment underlain by continuous permafrost / J. C. Koch, R. L. Runkel, R. Striegl, D. M. McKnight // *J. Geophys. Res. – Biogeosciences.* – 2013. – Vol. 118, № 2. – P. 698–712.

15. Fouché J. Increased CO₂ fluxes under warming tests and soil solution chemistry in Histic and Turbic Cryosols, Salluit, Nunavik, Canada / J. Fouché, C. Keller, M. Allard, J. P. Ambrosi // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2014. – Vol. 68. – P. 185–199.
16. Jessen S. Hydrology and pore water chemistry in a permafrost wetland, Ilulissat, Greenland / S. Jessen, H. D. Holmslykke, K. Rasmussen, N. Richardt, P. E. Holm // *Water Resources Research*. – 2014. – Vol. 50, Is. 6. – P. 4760–774.
17. Научно-прикладной справочник по климату СССР, Тюменская и Омская области, Вып. 17 / ред. С. А. Ковбой. – Санкт-Петербург: Гидрометеониздат, 1998. – 703 с.
18. Olefeldt D. Effects of permafrost and hydrology on the composition and transport of dissolved organic carbon in a subarctic peatland complex / D. Olefeldt, N. T. Roulet // *J. Geophys. Res.* – 2012. – Vol. 117. – DOI: 10.1029/2011JG001819
19. Ireson A. M. Hydrogeological processes in seasonally frozen northern latitudes: Understanding, gaps and challenges / A. M. Ireson, G. van der Kamp, G. Ferguson, U. Nachshon, H. S. Wheatler // *Hydrogeology J.* – 2013. – Vol. 21. – P. 53–66.
20. Kokelj S. V. Physical and chemical characteristics of the active layer and permafrost, Herschel Island, western Arctic Coast, Canada / S. V. Kokelj, C. A. Smith S., C. R. Burn // *Permafrost and Periglacial Processes*. – 2002. – Vol. 13. – P. 171–185.
21. Matyshak G. V. Contrasting soil thermal regimes in the forest-tundra transition near Nadym, West Siberia, Russia / G. V. Matyshak, O. Y. Goncharova, N. G. Moskalenko, D. A. Walker, H. E. Epstein, Y. Shur // *Permafrost and Periglacial Processes*. – 2017. – Vol. 28, № 1. – P. 108–118.
22. Köhler S. J. Landscape types and pH control organic matter mediated mobilization of Al, Fe, U and La in boreal catchments / S. J. Köhler, F. Lidman, H. Laudon // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 2014. – Vol. 135. – P. 190–202.
23. Pokrovsky O. S. Organic and organo-mineral colloids of discontinuous permafrost zone / O. S. Pokrovsky, R. M. Manasypov, S. V. Loiko, L. S. Shirokova // *Geochimica Cosmoch. Acta*. – 2016. – Vol. 188. – P. 1–20.
24. Stepanova V. A. Elemental composition of peat profiles in western Siberia: Effect of the micro-landscape, latitude position and permafrost coverage / V. A. Stepanova, O. S. Pokrovsky, J. Viers, N. P. Mironycheva-Tokareva, N. P. Kosykh, E. K. Vishnyakova // *Applied Geochemistry*. – 2015. – Vol. 53. – P. 53–70.
25. Shotyk W. A new approach for quantifying cumulative, anthropogenic, atmospheric lead deposition using peat cores from bogs: Pb in eight Swiss peat bog profiles / P. Blaser, A. Grünig, A. K. Cheburkin // *Science of the total Environment*. – 2000. – № 249. – P. 281–295.
26. Shotyk W. Atmospheric deposition and mass balance of major and trace elements in two oceanic peat bog profiles, western Scotland and the Shetland Islands // *Chemical Geology*. – 1997. – Vol. 138. – P. 55–72.
27. Shotyk W. Isotopic composition of Pb in peat and porewaters from three contrasting ombrotrophic bogs in Finland: Evidence of chemical diagenesis in response to acidification / W. Shotyk, N. Rausch, T. M. Nieminen, L. Ukonmaanaho, M. Krachler // *Environ. Sci. Technol.* – 2016. – Vol. 50. – P. 9943–9951.