

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ / ECOLOGY AND NATURE MANAGEMENT

УДК 550.4

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/24-2/09>*Болдырева Е.А., Московченко Д.В.*

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХОВЫХ ТОРФОВ БУГРИСТЫХ БОЛОТ ХМАО-ЮГРЫ

E.A. Boldyreva, D.V. Moskovchenko

GEOCHEMICAL FEATURES OF THE TOP PEATS OF THE HUMMOCKY BOGS OF THE KHAMAO-YUGRA

Аннотация. Бугристые торфяники являются накопителями углерода и способствуют сохранению многолетнемерзлых пород в северных регионах. Однако под влиянием потепления климата и протаивания мерзлоты в торфяниках происходят изменения их биогеохимических свойств. На примере трех разрезов, сделанных на территории природного парка «Нумто» (ХМАО-Югра), где мерзлота крайне неустойчива, определены закономерности распределения элементов в профиле торфяников. Определение микроэлементов в образцах осуществлено с помощью методов масс-спектральной и атомно-эмиссионной спектроскопии (ICP-MS и ICP-OES). Торфа исследуемой территории отличаются низкой зольностью. Отмечено повышенное содержание Fe, Mn, Cr, что характерно для торфов Западной Сибири. Концентрация тяжелых металлов, традиционно рассматриваемых в качестве индикаторов техногенного загрязнения (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu) в торфах низкая вследствие удаленности от источников техногенеза. На внутрипрофильное распределение металлов влияет ботанический состав торфа. Кустарничковый торф, по сравнению со сфагновым, отличается повышенным содержанием Pb, Cu, Cd.

Ключевые слова: бугристые болота; Западная Сибирь; элементный состав торфа, тяжелые металлы; радиальная геохимическая структура; сфагновый торф; кустарничковый верховой торф; валовое содержание.

Сведения об авторах. Болдырева Елизавета Ахмедовна, ORCID: 0000-0003-2964-1226, ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень, Россия, leta-92@list.ru; Московченко Дмитрий Валерьевич, ORCID: 0000-0001-6338-7669, ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень, Россия, moskovchenko1965@gmail.com

Abstract. Palsa bogs are carbon sinks and help preserve permafrost in northern regions. However, under the influence of climate warming and permafrost thawing in peatlands, changes in their biogeochemical properties occur. Using the example of three sections made on the territory of the Numto Natural Park (KHAMAO-Yugra), where the permafrost is extremely unstable, the distribution patterns of elements in the peat deposit profiles were determined. Determination of trace elements in the samples was carried out using mass spectral and atomic emission spectroscopy methods (ICP-MS and ICP-OES). The peat of the study area is characterized by low ash content. An increased content of Fe, Mn, and Cr was noted, which is typical for the peat of Western Siberia. The concentration of heavy metals traditionally considered as indicators of technogenic pollution (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu) in peat is low due to the remoteness from the sources of technogenesis. The intraprofile distribution of metals is influenced by the botanical composition of peat. Dwarfshrub peat, compared to Sphagnum peat, has a higher content of Pb, Cu and Cd.

Keywords: palsa bogs; Western Siberia; elemental composition of peat; heavy metals; radial geochemical structure; Sphagnum peat; dwarfshrub peat; gross content.

Information about authors. Elizaveta A. Boldyreva, ORCID: 0000-0003-2964-1226, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia, leta-92@list.ru; Dmitriy V. Moskovchenko, ORCID: 0000-0001-6338-7669, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia, moskovchenko1965@gmail.com

Болдырева Е.А., Московченко Д.В. Геохимические особенности верховых торфов бугристых болот ХМАО – Югры // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2024. № 2(66). С. 96-110. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/24-2/09>

Boldyreva, E.A., & Moskovchenko, D.V. (2024). Geochemical Features of the Top Peats of the Hummocky Bogs of the Khmao-Yugra. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(66), 96-110. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/24-2/09>

Введение. Торфяные болота Западной Сибири вызывают большой интерес у ученых. Одним из актуальных направлений исследований является анализ элементного состава торфов, что позволяет оценить состояние атмосферы в различные периоды торфонакопления и дает информацию об изменениях климата [16]. На севере Западной Сибири состав торфа также используется для оценки загрязнения от объектов нефтегазодобычи [6; 8; 27]. Ряд статей посвящен распределению отдельных элементов в профилях торфяников: Са, Fe, Mn [3-4], Рb [35]. Сведения о валовом содержании химических элементов, распределению подвижных форм, зависимости элементного состава от ботанического состава торфов и количества органических веществ представлены в [12; 14; 19; 23].

Ландшафты криолитозоны Западной Сибири характеризуются значительной заболоченностью. В лесотундре и северной тайге чрезвычайно широко распространены плоскобугристые болота, площадь которых на широтах 63–68° с.ш. оценивается в 426 тыс. км² [15]. Однако данные о химическом составе торфа бугристых болот криолитозоны Западной Сибири малочисленны. Особенно мало данных о составе торфа на южном пределе криолитозоны, где многолетняя мерзлота сохраняется только в торфяниках [34]. В настоящее время под влиянием потепления климата здесь наблюдается активизация экзогенных процессов – термокарстовое проседание, образование трещин-разрывов с последующей гидроморфизацией, формирование трещин-просадок [2; 29; 30]. Современное потепление климата, приводящее к оттаиванию мерзлых торфов, может изменить биогеохимические циклы в полярных и приполярных ландшафтах и увеличить роль торфяной залежи в формировании гидрохимических параметров поверхностных вод заболоченных водосборов [17; 33]. Это определяет актуальность изучения состава торфа на участках с нестабильным состоянием многолетнемерзлых пород.

Цель исследования – изучить содержание и закономерности распределения элементов, в торфяных залежах южной части криолитозоны. Для этого нами был исследован состав торфа в разрезах на территории природного парка «Нумто» (ХМАО – Югра), где широко распространены мерзлые плоско- и крупнобугристые торфяники, образующие комплексы площадью до нескольких десятков км² [5].

Материалы и методы исследования. Отбор проб торфа выполнен в летний период 2020–2021 гг. Территория исследования располагается в центральной части Западно–Сибирской равнины, на северном склоне возвышенности Сибирские Увалы между 63°10'–

64°20' с.ш., 70°00' – 71°35' в.д. По схеме районирования болотных систем [18] территория парка относится к Сургутско-Полесскому округу северотаежных олиготрофных озерково-грядово-мочажинных и сосново-кустарничково-сфагново-лишайниковых болот. Болота занимают примерно 2\3 территории парка «Нумто» [28]. Особенностью ландшафтов парка является широкое распространение мерзлых плоскобугристых болот с ерниково-кустарничково-лишайниковой растительностью, своеобразного анклава тундровых экосистем в таежной зоне [5]. Мерзлые торфяники здесь находятся вблизи южной границы распространения. По краям мерзлых торфяников распространены немерзлые сосново-кустарничково-сфагновые болота с разреженным древостоем высотой до 4–6 м. Широко распространены олиготрофные грядово-мочажинные и грядово-озерковые болота, с кустарничково-лишайниковыми сообществами с сосной на грядах и осоково-пушицево-сфагновыми в мочажинах. Мезотрофные осоково-моховые болота приурочены к приречным участкам.

Объектами исследования были торфяники, различающиеся по морфологии, растительному покрову и глубине сезонного протаивания. Исследован состав торфа трех разрезов, расположенных в различных участках парка (рис. 1). Разрез 1 сделан на крупнобугристом торфянике (63°52'50" с.ш., 70°16'50" в.д.), разрез 2 (63°42'20" с.ш., 70°24'04" в.д.) – на отдельно стоящем бугре пучения, разрез 3 (63°30'06" с.ш., 71°22'14" в.д.) – в краевой части плоскобугристого торфяника. Все торфяники распложены на многолетнемерзлых породах. Минеральные породы, подстилающие торф, представлены льдистыми и сильно льдистыми песками и супесями. Сезонное оттаивание варьировало от 1,1 м (плоскобугристый торфяник) до 2 м (бугор пучения). Разрез 1 почти полностью сложен сфагновым торфом, только в самых нижних слоях сменяющийся осоковым. Разрез 2 – сложен верховыми торфами, в верхней части разреза преимущественно кустарничковый торф (багульник, брусника), в нижней – сфагновый (*Sphagnum fuscum*, *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum angustifolium*). Ботанический анализ торфа разреза 3 показал, что доля пушиц (*Eriophorum spp.*) в основной части разреза составляет от 73% до 96%. В самых верхних слоях доля пушицы уменьшается до 42%, остальное количество остатков представлено сфагновыми и гипновыми мхами, клюквой. Таким образом, торф относится к пушицевому виду, в ботаническом составе которого содержится от 40 до 100% остатков пушицы и не более 35% сфагновых мхов.

Типологическая принадлежность олиготрофных торфяных почв парка является предметом дискуссии. Ранее почвы мерзлых бугров на территории парка Нумто по диагностическим критериям Классификации почв России [31] были отнесены к подтипу деструктивных типа торфяных олиготрофных, а в случае разрушения бугров предложено выделить торфяные олиготрофные реликтивно-эвтрофные почвы [1]. Однако проявляющееся в отдельных случаях несоответствие состава торфа и строения залежи описанным в «Классификации...» критериям деструктивных олиготрофных почв вызвало предложение выделить особый подтип влажных регрессивных почв [2]. Обследованные

нами разрезы по совокупности признаков были отнесены к олиготрофным (разрез 1), олиготрофным деструктивным (разрез 2). Почвы разреза 3, где олиготрофный торф составляет основную часть залежи было принято отнести в соответствии с [1] к олиготрофным реликтивно-эутрофным.

В ходе исследования с помощью пробоотборника прямоугольного сечения был отобран керн торфа на всю глубину разреза до минеральной основы. Общая мощность торфа в разрезе 1 составляет 100 см, в разрезе 2 – 162 см, разрезе 3 – 97 см. Для изучения распределения химических элементов в профиле торфяника керн был поделен на равные отрезки, которые были высушены при комнатной температуре до воздушно-сухого веса.



Рис. 1. Район исследования. Разрез 1 – крупнобугристое болото на родовых угодьях С.Д. Рандымова. Разрез 2 – бугор пучения, лицензионный участок имени Логачева. Разрез 3 – краевая часть плоскобугристого торфяника

Элементный состав образцов был определен с применением методов масс-спектральной и атомно-эмиссионной спектроскопии (ICP–MS и ICP–OES). Для каждой пробы проведено два параллельных определения элементов. Результаты, полученные в двух повторениях, проверялись на предмет расхождений с допусками ($P=0,95$), рассчитанными для каждого измеряемого элемента отдельно. При удовлетворительном результате в качестве конечного результата измерения принималось среднее арифметическое. Зольность торфа определяли согласно ГОСТ 26801-86 [9]. Тигли с навесками, высушенные при температуре 105°C до постоянной массы, помещали в муфельную печь. Постепенно поднимали температуру печи до 800°C и прокаливали в течение двух часов. После охлаждения тигли взвешивали.

Для полученных данных подсчитаны статистические показатели – среднеарифметическое значение (M), медианное значение (Me) и среднеквадратичное отклонение (SD). Обработка проводилась с помощью программы Microsoft Excel. Для уточнения особенностей распределения химических элементов в профиле торфяника были подсчитаны коэффициенты радиальной дифференциации. Биогеохимические особенности торфа обследованной территории оценивались путем сопоставления с результатами изучения состава торфов сопредельных территорий: Надым-Пур-Тазовского междуречья [26], Среднего Приобья [7], Томской области [11], бассейна р. Пякупур [17] и верховых торфов России [10].

Результаты и их обсуждение. Средняя зольность торфа составила в разрезе 1 – 3,1% (варьирование 2,1 – 3,6%), в разрезе 2 – 6,5 % (4,5 – 9,1%), в разрезе 3 – 2,9% (1,5-3,5%). Низкая зольность связана как со слабой степенью разложения торфа, так и с незначительным поступлением пылевых частиц в торфяник в ходе его формирования. Результаты определения элементного состава торфов представлены в таблице. Сопоставление с показателями регионального фона показало, что торф на обследованной территории отличается низким содержанием большинства микро- и макроэлементов. Во всех обследованных торфах содержание Cr, Co, Ni, Pb, Cu, Cd было ниже средних значений для торфяных почв Надым-Пур-Тазовского региона [26]. Пониженные концентрации ряда других микроэлементов (Fe, Sc, V, Mn, Co) отмечены в сфагновом и пушицевом торфе (табл. 1). В сходных по морфологии торфяниках бассейна реки Пякупур [17] были выявлены еще более низкие концентрации Fe, Co, Ni, V, Mo.

Таблица

Элементный состав торфов «Природного парка «Нумто»

Элементы, мг/кг абс. сухого в-ва	Разрез 1. Сфагновый олиготрофный торф (n=40)		Разрез 2. Верховые (кустарничковый и сфагновый) торфа (n=47)		Разрез 3. Пушицевый торф (n=20)		Региональный фон для торфяников [17; 26]
	$M \pm sd$	Me	$M \pm sd$	Me	$M \pm sd$	Me	
Al	2943 ± 2959	2096	2690 ± 1729	1927	1406 ± 410	1303	1487 ± 1060*
Fe	2055 ± 930	1758	8678 ± 3620	9985	1371 ± 1163	708	4890 ± 700 **
Li	0,5 ± 1,2	0,14	0,74 ± 0,69	0,36	0,32 ± 0,11	0,29	0,48 ± 0,31*
Be	0,17 ± 0,07	0,16	0,14 ± 0,09	0,13	0,14 ± 0,04	0,15	-
Sc	0,72 ± 0,51	0,57	1,1 ± 0,77	0,75	0,81 ± 0,25	0,87	0,90 ± 0,16 **
Ti	75 ± 151	38	77 ± 58	52	125 ± 40,6	115	94 ± 93*
V	5,3 ± 8,5	3,0	11 ± 8,3	11	6,9 ± 1,9	6,8	7,84 ± 0,95 **
Cr	3,9 ± 4,1	2,5	6,3 ± 4,2	4,7	4,6 ± 1,3	4,5	7,92 ± 0,92**
Mn	12 ± 10,1	7,7	88 ± 84	51	13,8 ± 8,3	14,7	49 ± 9**
Co	0,94 ± 0,67	0,68	2,1 ± 0,85	2,4	0,63 ± 0,14	0,62	2,07 ± 0,16**
Ni	5,6 ± 1,2	2,5	4,2 ± 2,7	4,1	1,3 ± 0,3	1,3	6,34 ± 0,50**
Cu	1,7 ± 0,92	1,4	3,2 ± 1,6	2,7	2,67 ± 1,6	2,3	6,24 ± 0,58**
As	0,57 ± 0,34	0,50	3,8 ± 1,4	3,8	-	-	0,11 ± 0,07*
Sr	21 ± 12,9	18	21 ± 11	24	13,8 ± 6,4	12,0	20,5 ± 0,2**
Y	2,6 ± 1,0	2,4	3,5 ± 2,7	2,6	2,13 ± 0,72	2,24	-
Mo	0,14 ± 0,06	0,10	0,20 ± 0,10	0,19	0,51 ± 0,44	0,40	0,12 ± 0,05*

Cd	0,14±0,10	0,11	0,11±0,07	0,09	-	-	0,25±0,024**
Cs	0,14±0,19	0,10	0,21±0,17	0,10	-	-	-
Ba	30±28	24	60±22	64	81,1±21.9	75,1	65,1±5,2**
La	1,8±0,96	1,4	2,9±2,0	2.2	1,73±0.54	1,66	-
Pb	2,9±3,5	1,5	1,6±1,4	1.2	1,43±1.5	0,95	4,93±0,45*8

Примечание: М – среднее арифметическое значение; sd – среднеквадратичное отклонение; Me – медиана. * – [17]; ** – [26]

Ранее указывалось, что торф таежных районов Среднего Приобья представляет собой сильную отрицательную геохимическую аномалию многих химических элементов вследствие удаленности от источников аэрального переноса пыли [7]. Очевидно, что и в более северных районах торф также отличается низкими концентрациями элементов. В торфяниках Надым-Пур-Тазовского междуречья концентрация Ba, Mn, Sc, Sr и Pb в 3–5 раз, Zn, Co, Со и Cr в 2–3 раза ниже, чем в органогенных горизонтах минеральных почв [26]. Таким образом, оттаивание мерзлых торфяников представляет значительно меньшую угрозу трансформации биогеохимических потоков веществ, чем оттаивание минеральных почв.

Сравнение с результатами обобщения элементного состава верховых торфов России, полученных преимущественно на Восточно-Европейской равнине [10], позволило уточнить некоторые биогеохимические особенности торфов таежной зоны Западной Сибири. Торфа парка «Нумто» содержат повышенное количество железа, хрома и марганца (рис. 2). Высокое содержание этих элементов ранее отмечалось в торфах разных природных зон Западной Сибири [19]. В торфах Томской области также было выявлено высокое содержание Fe [11], марганца и хрома [13]. Таким образом, состав торфа на обследованном участке типичен для таежной зоны Западной Сибири, к биогеохимическим особенностям которой относится накопление Fe, Mn, Cr в торфе верховых болот.

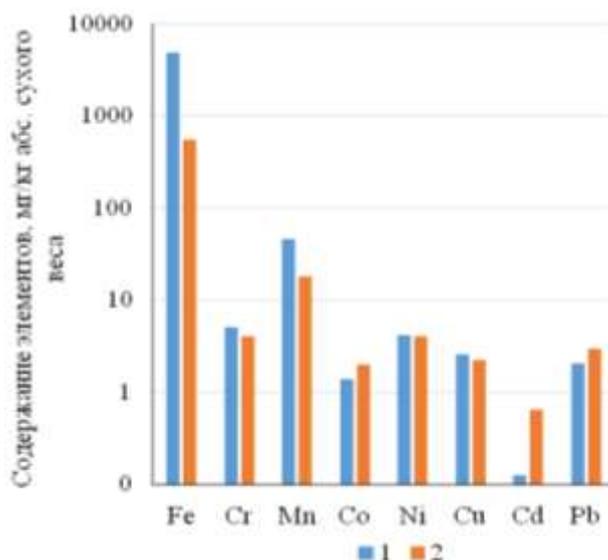


Рис. 2. Элементный состав верховых торфов. 1 – «Природный парк «Нумто» (наши данные); 2 – верховые торфа России [10]

Вместе с тем содержание кадмия и свинца в исследованном торфе было на низком уровне. Свинец в исследуемых торфах аккумулируется в незначительных количествах: В исследованных разрезах его концентрация в 1,2–3,1 раз меньше средних значений для севера Западной Сибири по [26], содержание Cd меньше в 1,8–2,3 раза. Эти элементы традиционно считаются индикаторами антропогенного воздействия, обусловленного транспортной нагрузкой (Pb), цветной металлургией (Cd) [32]. Низкое содержание элементов в исследованных торфах можно объяснить их слабым поступлением от антропогенных источников вследствие удаленности от промышленных центров и в целом от крупных поселений.

Сопоставление состава торфов разного ботанического состава показывает значительное варьирование содержания ряда элементов. В верховых торфах бугра пучения отмечено повышенное содержание Fe, V, Mn, Mo, в пушицевом торфе – Ba.

На формирование состава торфа оказывают влияние процессы биологического накопления растениями-доминантами, особенности водомиграционной активности элементов в болотных водах, поступление почвенного мелкозема и аэрозолей воздушным путем [22]. Сфагновые мхи являются одним из основных торфообразователей верховых болот. Отмечалось, что биогеохимическая активность, то есть способность к накоплению элементов у сфагновых мхов ниже, чем у растений плакорных местообитаний [20]. Однако отдельные элементы интенсивно поглощаются сфагновыми мхами, в том числе марганец [19]. Накопление бария и марганца пушицей было отмечено в Уренгойских тундрах [21]. В этом отношении высокое содержание Ba в торфе разреза 3 можно объяснить особенностями его биологического накопления пушицей. Однако повышенное содержание Mn в сфагновых мхах не соответствует низкому содержанию в сфагновом торфе разреза 1. В составе растений этот элемент находится в легко растворимой форме и быстро освобождается из разлагающихся растительных остатков [24]. Следовательно, содержание Mn и его распределение в профиле торфяника зависит не от состава растений-торфообразователей, а от процессов транслокации и закрепления этого элемента на геохимических барьерах.

Наибольшая концентрация многих элементов (Mn, Fe, Li, Sc, V, Cr, Mn, Co, Cu, Y) отмечена в торфах бугра пучения (табл.). Рост содержания микроэлементов совпадает с ростом зольности торфа. Зольность торфа разреза 2 была максимальной, что, по нашему мнению, связано с усилением осаждения эолового материала на бугре пучения. Однако сопряженный анализ ботанического и элементного состав торфа (рис. 3, 4) показал, что увеличение содержания Pb, Cu, Cd совпадает со сменой состава торфа со сфагнового на кустарничковый (*Ericaceae*). Другие элементы по профилю распространены относительно равномерно. Таким образом, распределение Pb, Cu, Cd зависит преимущественно от биологического накопления. Ранее отмечалось, что багульник в районе Уренгоя интенсивно накапливает халькофильные элементы (Cu, Pb, Cd), в то время как содержание сидерофильных Fe, Co, Cr в нем понижено [21]. Согласно литературным данным [25], в

почве катионы халькофильных элементов (кадмия, свинца, меди) взаимодействуют с органическими и минеральными соединениями. Гуминовые и фульвокислоты способны образовывать устойчивые комплексы с ними, поэтому торф обладает способностью к прочной фиксации этих элементов.

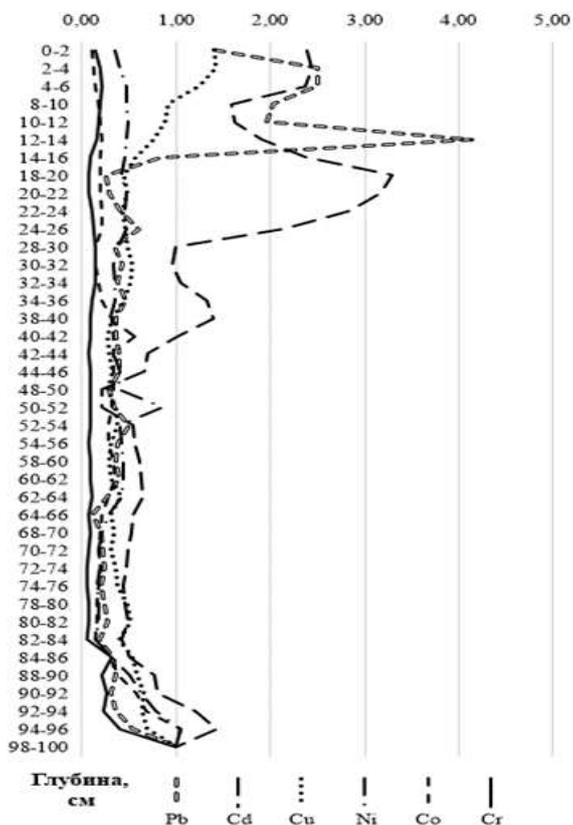


Рис. 3. Распределение микроэлементов в профиле разреза 2

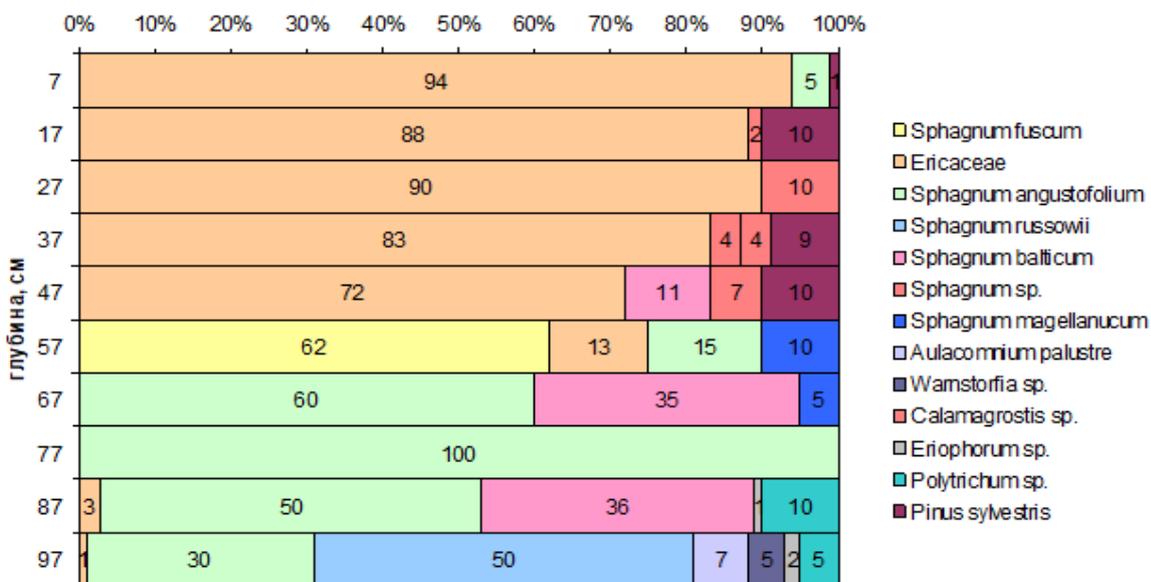


Рис. 4. Ботанический состав торфа разреза 2

Таким образом, повышенное содержание халькофильных элементов в комплексном торфе разреза 2 мы связываем с изменением ботанического состава торфообразователей, а рост содержания литофильных и сидерофильных элементов – поступлением эолового мелкозема.

Для прогноза изменения потоков вещества, вызванного таянием мерзлых торфяников, было проведено сопоставление состава их торфа с составом почвообразующих пород. Результаты, приведенные на рисунке 5, показывают содержание большинства тяжелых металлов в торфе меньше, чем в породах. Торфа имеют более низкий объемный вес, поэтому запасы элементов в них ниже, чем в минеральных почвах. Однако торф отличается повышенным содержанием Cd. Таким образом, возможное таяние мерзлых торфяников с последующим высвобождением содержащихся в них элементов может привести к увеличению поступления этого элемента в поверхностные воды.

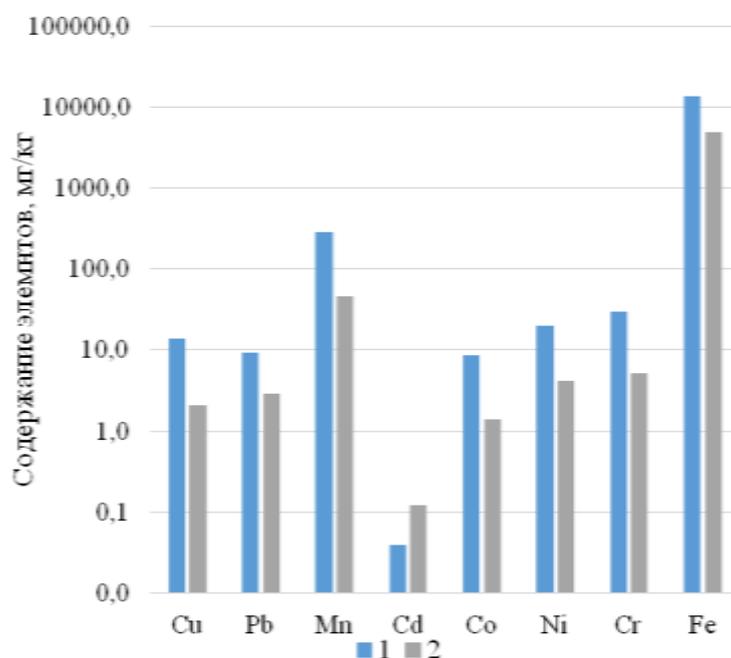


Рис. 5. Содержание 1 – тяжелых металлов в почвообразующих породах «Природного парка «Нумто» [5] и 2 – в торфе (наши данные)

Выводы. Верховой торф на обследованной территории отличается повышенным содержанием Fe, Mn, Cr. Данная биогеохимическая особенность свойственна торфам различных природных зон Западной Сибири. Концентрация тяжелых металлов, традиционно рассматриваемых в качестве индикаторов техногенного загрязнения (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu) в торфе природного парка «Нумто» низкая вследствие удаленности от источников техногенеза.

Содержание халькофильных элементов (Pb, Cu, Cd) в торфе зависит, прежде всего, от биологического накопления растениями-торфообразователями. Кустарнички, в частности, багульник, интенсивно накапливают эти элементы, поэтому кустарничковый торф в верхней части разреза содержит этих элементов больше, чем сфагновый и пушицевый торф.

Mn интенсивно накапливается растениями, но столь же интенсивно вымывается из растительных остатков. Содержание литофильных и сидерофильных элементов Fe зависит от осаждения пылевых частиц, которое максимально на крупных буграх пучения.

По сравнению с почвообразующими породами в районе исследований, торф содержит повышенное количество кадмия, поэтому оттаивание мерзлого торфа при потеплении климата может вызвать рост поступления этого элемента в поверхностные воды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (№FWRZ-2021-0006).

Литература

1. Аветов Н.А., Кузнецов О.Л., Шишконокова Е.А. Опыт использования классификации и диагностики почв России в систематике торфяных почв биогеоценозов олиготрофных болот северотаежной подзоны Западной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2019. № 4. С. 37-47.
2. Аветов Н.А., Шишконокова Е.А. Некоторые аспекты систематики и диагностики торфяных почв бореальных болот // Почвоведение. 2019. № 8. С. 901-909. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19080033>
3. Архипов В.С., Бернатонис В.К. Распределение кальция и железа в вертикальном профиле торфяных залежей таежной зоны Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Гидрогеология. 2013. № 323(1). С. 173-178.
4. Архипов В.С., Бернатонис В.К. Распределение марганца в торфяных залежах. Томской области Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов. 2015. № 326(7). С. 27-35.
5. Валеева Э.И., Московченко Д.В., Арефьев С.П. Природный комплекс парка «Нумто». Новосибирск: Наука, 2008. 280 с.
6. Водяницкий Ю.Н., Аветов Н.А., Савичев А.Т., Трофимов С.Я., Шишконокова Е.А. Содержание химических элементов в торфяных почвах, засоленных буровыми сточными водами на участке добычи нефти в Среднем Приобье // Агрохимия. 2013. № 3. С. 75-84. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13100146>
7. Водяницкий Ю.Н., Савичев А.Т., Аветов Н.А., Трофимов С.Я., Козлов С.А. Сильная отрицательная геохимическая аномалия в верховых торфах средней тайги Среднего Приобья // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение, 2012. № 3. С. 7-12
8. Водяницкий Ю.Н., Савичев А.Т., Трофимов С.Я., Шишконокова Е.А. Металлы в загрязненном нефтью торфе (Западная Сибирь) // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. Вып. 67. 2011. С. 67-79.
9. ГОСТ 26801-86. Торф. Методы определения зольности в залежи.
10. Добродеев О.П. Особенности биогеохимии тяжелых металлов верховых болот // Природные и антропогенно измененные биогеохимические циклы: Труды Биогеохимической лаборатории. М.: Наука, 1990. Т. 21. С. 53-61.

11. Езупенок Е.Э. Содержание химических элементов в торфах и торфяных почвах южно-таежной подзоны Западной Сибири. Автореф. дис. канд. биол. наук. Томск, 2005.
12. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Куценогий К.П. Биогеохимия Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, V, Mo, Ta, W, U в низинном торфе на междуречье Оби и Томи // Почвоведение. 2003. № 5. С. 557-567.
13. Инишева Л.И., Цыбукова Т.Н. Распределение химических элементов в низинных торфах пойменного типа // Торф в сельском хозяйстве. 1997. Вып. 3. С. 32-40.
14. Инишева Л.И., Цыбукова Т. Н. Эколого-геохимическая оценка торфов юго-востока Западно-Сибирской равнины // География и природ. ресурсы. 1999. № 1. С. 45-51.
15. Кирпотин С.Н., Воробьев С.Н., Хмыз В.Ф., Гузынин Т.В., Скобликов С.А., Яковлев А.Е. Строение и динамика растительного покрова плоскобугристых болот Надым-Пурского междуречья Западно-Сибирской равнины // Ботанический журнал. 1995. Т. 80, № 8. С. 29-38.
16. Ларина Н.С., Ларин С.И., Меркушина Г.А. Накопление химических элементов в верховых торфяниках подтаежного Зауралья в голоцене // Почвоведение. 2014. №7. С. 812-823. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14050128>
17. Лим А.Г., Лойко С.В., Раудина Т.В., Волкова И.И., Середина В.П. Элементный состав торфяной залежи плоскобугристого мерзлого болота бассейна реки Пякупур (северная тайга Западной Сибири) // Ukrainian Journal of Ecology. 2018. Т.8. № 1. С. 79-87.
18. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А. Болотные системы Западной Сибири и их природное значение. Тула, 2001. 584 с.
19. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2006. № 1. С. 63-70.
20. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности ландшафтов полуострова Ямал и их оптимизация в связи с нефтегазодобычей. Автореф. дис. канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 1995. С. 19.
21. Московченко Д.В., Моисеева И.Н., Хозяинова Н.В. Элементный состав растений Уренгойских тундр // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2012. № 12. С. 130-136.
22. Московченко Д.В., Романенко Е.А. Особенности элементного состава почв Пур-Тазовского междуречья // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 51-84. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-51-84>
23. Нечаева Е. Г. Геохимические закономерности торфообразования на Западно-Сибирской равнине // География и природ. ресурсы. 1992. № 3. С. 21-29.
24. Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таёжных геосистем. Иркутск: Институт географии СО АН СССР, 1985. 210 с.
25. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение / под общ. ред. М.М. Овчаренко. М.: Пролетарский светоч, 1997. 289 с.
26. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422-439. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>

27. Пожитков Р.Ю., Московченко Д.В., Тигеев А.А. Элементный состав торфяных отложений верхового типа Пур-Тазовского междуречья // Географический вестник. № 1(52). 2020. С. 154-162. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-1-154-165>

28. Шалатонов Е.Н., Московченко Д.В. Типология и динамика болотных экосистем северной тайги Западной Сибири в условиях воздействия нефтегазового комплекса (на примере природного парка «Нумто») // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14. № 6. С. 933-943.

29. Шишконокова Е.А., Аветов Н.А., Толпышева Т.Ю., Тарлинская А.А. Растительная индикация термокарстовых образований бугристых болот в южной части парка Нумто (Западная Сибирь) // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 1. С. 27-56. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2019-9-1-27-57>

30. Шишконокова Е.А., Аветов Н.А., Толпышева Т.Ю. Торфяные почвы бореальных регрессивных болот Западной Сибири: проблемы биологической диагностики и систематики // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. № 84. С. 61-74. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-61-74>

31. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.

32. Nriagu J. O., Pacyna J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals // Nature. 1988. No 333. Pp. 134-139. <https://doi.org/10.1038/333134a0>

33. Raudina T. V. Loiko S. V. , Lim, A. G. , Krickov I. V. , Shirokova L. S. and Istigechev G. I. and Kuzmina D. M. and Kulizhsky, S. P. and Vorobyev S. N. and Pokrovsky O. S. Dissolved organic carbon and major and trace elements in peat porewater of sporadic, discontinuous, and continuous permafrost zones of western Siberia // Biogeosciences. No 14. 2017. Pp. 3561-3584. <https://doi.org/10.5194/bg-14-3561-2017>

34. Shur Y.L., Jorgenson M.T. Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems. Permafrost Periglacial Proc. 2007. V. 18. No 1. Pp. 7-19. <https://doi.org/10.1002/ppp.582>

35. Veretennikova E.E. Lead in the natural peat cores of ridge-hollow complex in the taiga zone of West Siberia // Ecol. Eng. № 80, 2015. Pp. 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.02.001>

References

1. Avetov, N.A., Kuznetsov, O.L., & Shishkonakova, E.A. (2019). Experience in the use of Russian soil classification and diagnosis in the systematics of peat soils of oligotrophic bogs in the north taiga subzone of West Siberia. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*, 19(4), 37-47. (in Russ.).

2. Avetov, N.A., & Shishkonakova, E.A. (2019). Some aspects of the systematics and diagnostics of peat soils of boreal swamps. *Soil science*, 8, 901-909. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19080033> (in Russ.).

3. Arkhipov, V.S., & Bernatoni, V.K. (2013). Distribution of calcium and iron in the vertical profile of peat deposits of the taiga zone of Western Siberia. *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Hydrogeology*, 323(1), 173-178. (in Russ.).

4. Arkhipov, V.S., & Bernatonis, V.K. (2015). Distribution of manganese in peat deposits. Tomsk region News of Tomsk Polytechnic University. *Georesource engineering*, 326(7), 27-35. (in Russ.).
5. Valeeva, E.I., Moskovenko, D.V., & Aref'ev, S.P. (2008). *The natural complex of the Numto Park*. Novosibirsk. (in Russ.).
6. Vodyanitskij, Yu.N., Avetov, N.A., Savichev, A.T., Trofimov, S.Ya., & Shishkonakova, E.A. (2013). The content of chemical elements in peat soils salted by drilling wastewater at the oil production site in the Middle Ob region. *Agrochemistry*, 3, 75-84. (in Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032180X13100146>
7. Vodyanitskij, Yu.N., Savichev, A.T., Avetov, N.A., Trofimov, S.Ya., & Kozlov, S.A. (2012). A strong negative geochemical anomaly in the upper peat of the middle taiga of the Middle Ob region. *Bulletin of the Moscow University*, 17(3), 7-12. (in Russ.).
8. Vodyanitskij, Yu.N., Savichev, A.T., Trofimov, S.Ya., & Shishkonakova, E.A. (2011). Metals in oil-contaminated peat (Western Siberia). *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*, 67, 67-79. (in Russ.).
9. GOST 26801-86. *Peat. Methods for determining ash content in deposits*. (in Russ.)
10. Dobrodeev, O.P. (1990). Osobennosti biogehimii tyazhelyh metallov verhovyyh bolot. Prirodnye i antropogenno izmenennyye biogehimicheskie ciklyu In *Trudy Biogehimicheskoy laboratorii* (Vol. XXI. pp. 53-61). M.: Nauka (in Russ.)
11. Ezupenok, E.E. (2005). *The content of chemical elements in peat and peat soils of the South Taiga subzone of Western Siberia*. Avtoref. kand. biol. nauk. Tomsk. (in Russ.).
12. Efremova, T.T., Efremov, S.P., & Kutsenogij, K.P. (2003). Biogeochemistry of Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, V, Mo, Ta, W, U in lowland peat between the Ob and Tom rivers. *Soil Science*, 5, 557-567. (in Russ.).
13. Inisheva, L.I., & Tsybukova, T.N. (1997). Distribution of chemical elements in lowland peat of floodplain type. *Peat in agriculture*, 3, 32-40. (in Russ.).
14. Inisheva, L. I., & Tsybukova, T. N. (1999). Ecological and geochemical assessment of peat in the south-east of the West Siberian plain. *Geography and nature. Resources*, 1, 45-51. (in Russ.).
15. Kirpotin, S.N., Vorob'ev, S.N., KHmyz, V.F., Guzynin, T.V., Skoblikov, S.A., & Yakovlev, A.E. (1995). The structure and dynamics of vegetation cover of flat-hummocky swamps of the Nadym-Pursky interfluvium of the West Siberian plain. *Botanical Journal*, 80(8), 29-38. (in Russ.).
16. Larina, N.S., Larin, S.I., & Merkusheva, G.A. (2014). Accumulation of chemical elements in the upper peatlands of the Subtaiga Trans-Urals in the Holocene. *Soil Science*, 7, 812-823. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14050128> (in Russ.).
17. Lim, A.G., Lojko, S.V., Raudina, T.V., Volkova, I.I., & Seredina, V.P. (2018). Elemental composition of a peat deposit of a flat-hummocky frozen swamp of the Pyakupur River basin (northern taiga of Western Siberia). *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 79-87. (in Russ.).
18. Liss, O.L., Abramova, L.I., Avetov, N.A., & Berezina, N.A. (2001). *Swamp systems of Western Siberia and their natural significance*. Tula. (in Russ.).

19. Moskovchenko, D.V. (2006). Biogeochemical features of the upper marshes of Western Siberia. *Geography and natural Resources*, 1, 63-70 (in Russ.)

20. Moskovchenko, D.V. (1995). *Biogeochemical features of the Yamal Peninsula landscapes and their optimization in connection with oil and gas production*. Avtoref. kand. geogr. nauk. Sankt-Peterburg. (in Russ.).

21. Moskovchenko, D.V., Moiseeva, I.N., & KHozyainova, N.V. (2012). The elemental composition of plants of the Urengoy tundras. *Bulletin of Ecology, forestry and landscape studies*, 12, 130-136. (in Russ.).

22. Moskovchenko, D.V., & Romanenko, E.A. (2020). Features of the elemental composition of soils of the Pur-Taz interfluvium. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*, 103, 51-84. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-51-84> (in Russ.).

23. Nechaeva, E.G. (1992). Geochemical patterns of peat formation in the West Siberian plain. *Geography and nature. Resources*, 3, 21-29. (in Russ.).

24. Nechaeva, E.G. (1985). *Landscape-geochemical analysis of the dynamics of taiga geosystems*. Irkutsk. (in Russ.).

25. Ovcharenko, M.M. (Ed.). (1997). *Heavy metals in the soil-plant-fertilizer system*. M.: Proletarskiy Svetotch. (in Russ.).

26. Opekunova, M.G., Opekunov, A.Yu., Kukushkin, C.Yu., & Ganul, A.G. (2019). Background content of chemical elements in soils and bottom sediments of the north of Western Siberia. *Soil Science*, 4, 422-439. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114> Sankt-Peterburg (in Russ.).

27. Pozhitkov, R.Yu., Moskovchenko, D.V., & Tigeev, A.A. (2020). The elemental composition of peat deposits of the upper type of the Pur-Taz interfluvium. *Geographical Bulletin*, 1 (52), 154-162. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2020-1-154-165> (in Russ.).

28. Shalatonov, E.N., & Moskovchenko, D.V. (2007). Typology and dynamics of swamp ecosystems of the northern taiga of Western Siberia under the influence of the oil and gas complex (on the example of the Numto Natural Park). *Siberian Ecological Journal*, 14(6), 933-943. (in Russ.).

29. Shishkonakova, E.A., Avetov, N.A., Tolpysheva, T.Yu., & Tarlinskaya, A.A. (2019). Plant indication of thermokarst formations of bumpy swamps in the southern part of the Numto Park (Western Siberia). *Socio-ecological technologies*, 9(1), 27-56. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2019-9-1-27-57> (in Russ.).

30. Shishkonakova, E.A., Avetov, N.A., & Tolpysheva, T.Yu. (2016). Peat soils of boreal regressive swamps of Western Siberia: problems of biological diagnostics and systematics. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*, 84, 61-74. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-61-74> (in Russ.).

31. Shishov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I., & Gerasimova, M.I. (2004). *Classification and diagnostics of soils in Russia*. Smolensk (in Russ.)

32. Nriagu, J.O., & Pacyna, J.M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333, 134-139. <https://doi.org/10.1038/333134a0>

33. Raudina, T.V. Loiko, S.V. , Lim, A.G. , Krickov, I.V. , Shirokova, L.S. and Istigechev, G.I. and Kuzmina, D.M. and Kulizhsky, S.P. and Vorobyev, S.N. & Pokrovsky, O.S. (2017). Dissolved organic carbon and major and trace elements in peat porewater of sporadic, discontinuous, and continuous permafrost zones of western Siberia. *Biogeosciences*, 14, 3561-3584. <https://doi.org/10.5194/bg-14-3561-2017>

34. Shur, Y.L., & Jorgenson, M.T. (2007). Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems. *Permafr Periglac Proc*, 18(1), 7–19. <https://doi.org/10.1002/ppp.582>

35. Veretennikova, E.E. (2015). Lead in the natural peat cores of ridge-hollow complex in the taiga zone of West Siberia. *Ecol. Eng.*, 80, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.02.001>

дата поступления: 25.02.2024

дата принятия: 27.04.2024

© Болдырева Е.А., Московченко Д.В., 2024