

УДК 631.412

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ПЛОСКОБУГРИСТОГО БОЛОТА ЗОНЫ ПРЕРЫВИСТОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

**А. Г. Лим, С. В. Лойко, Т. В. Раудина, И. В. Крицков,
С. П. Кулижский, О. С. Покровский**

*Томский государственный университет, пр. Ленина, 36,
634050, г. Томск, Россия, lim_artiom@mail.ru*

Рассмотрено изменение концентрацией ряда химических элементов в торфяной олиготрофной мерзлотной почве и подстилающей торфяногенной горной породе сфагново-кустарничково-лишайникового бугра плоскобугристого болота бассейна реки Пякупур в области прерывистого распространения многолетней мерзлоты Западно-Сибирской равнины. Установлено, что наиболее обуглероженный торф сформирован в нижней части торфяногенной залежи. Обогащенность азотом органического вещества выше в мерзлой части, что связано с меньшим содержанием сфагновых мхов в торфе в мерзлой части залежи. Концентрации Na, Mg, Ca, Zn, Ba, As, Nb и Sb выше в сезонно-талой части торфяной почвы. В многолетнемерзлой части торфяной почвы выше концентрации Al, V, Co, Cu, Zr, Nb и Mo. На формирование химического состава оказывают влияние исходный ботанический состав, пылевые выпадения и процессы микробиологической трансформации торфяной массы.

Ключевые слова: мерзлые плоскобугристые болота; химический элементный состав; Западная Сибирь; углерод; почвы.

CHEMICAL ELEMENTS IN SOILS OF A FLAT MOUND BOG IN THE ZONE OF DISCONTINUOUS DISTRIBUTION OF PERMAFROST (WESTERN SIBERIA)

A. G. Lim, S. V. Loiko, T. V. Raudina, I. V. Kritskov, S. P. Kulizhsky, O. S. Pokrovsky

Tomsk state university, Lenin Av., 36, 634050, Tomsk, Russia, lim_artiom@mail.ru

The change in the concentration of a number of chemical elements in the peat oligotrophic permafrost soil and the underlying peat-organogenic rock of the sphagnum-shrub-lichen hillock of the flat-hilly bog of the Pyakupur River basin in the area of intermittent permafrost of the West Siberian Plain is considered. It has been established that the most carbonized peat is formed in the lower part of the organogenic peat deposit. The nitrogen enrichment of organic matter is higher in the frozen part, which is associated with a lower content of sphagnum mosses in peat in the frozen part of the deposit. The concentrations of Na, Mg, Ca, Zn, Ba, As, Nb and Sb are higher in the seasonally thawed

part of the peat soil. In the permafrost part of the peat soil, the concentrations of Al, Ba, B, V, Co, Cu, Zr, Nb and Mo are higher. The formation of the chemical composition is influenced by the initial botanical composition, dust fallout and the processes of microbiological transformation of the peat mass.

Keywords: flat frost mound bog; composition of chemical elements; Western Siberia; carbon; soils.

Особое внимание уделяется оценке воздействия климатических изменений на различные компоненты ландшафтов и потоки химических элементов. Согласно отчету ИРСС [1], наибольшие изменения затронут северные регионы, охваченные многолетней мерзлотой, что в свою очередь приведет к существенной трансформации экосистем. Ландшафты криолитозоны Западной Сибири в основном представлены мерзлыми бугристыми и полигональными болотами [2]. Их торфяная залежь, в условиях ограниченного участия грунтовых вод в зоне многолетнемерзлых пород, играет решающую роль в формировании элементного состава водоёмов, дренирующих болотные массивы [3]. При дальнейшем потеплении будет увеличиваться объём деятельного слоя болот, что приведёт к увеличению роли торфяной залежи в формировании гидрохимических параметров поверхностных вод заболоченных водосборов. В связи с этим становится актуальной оценка содержания, форм и запасов химических элементов в торфяных залежах мерзлых болот, для чего и выполнена данная работа.

Территория исследования расположена в северотаёжной зоне, для исследования был выбран участок мерзлого плоскобугристого болота ($63^{\circ}47'50''$; $75^{\circ}33'22''$). Образцы отобраны из керна, полученного путём механизированного бурения установкой УКБ-2. Мощность торфа 1 м. глубина сезонно-талого слоя (СТС) 43 см.

Отобранные пробы анализировали на содержание азота и углерода путём Cu-O каталитического сжигания при 900°C с точностью к стандарту $\leq 0.5\%$ (ThermoFlash 2000 CNA analyzer). Для определения элементного состава образцы предварительно подвергались кислотному разложению и затем были проанализированы на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (Agilent 7500 ce).

Несистематические вариации содержания углерода и азота наблюдались с глубиной по всему керну, с пиком концентрации N около 80 см и резким уменьшением содержания в минеральных горизонтах. Наибольшие концентрации органического углерода наблюдаются у основания торфяной залежи ($64,4 \pm 0,2\%$). Концентрация азота в многолетнемерзлом торфе выше, чем в талом ($1 \pm 0,2\%$ и $0,7 \pm 0,1\%$, соответственно, разница значима при $p = 0,001$). Отношение C/N

снижается с 72 ± 16 в 0-43 см талого слоя к 50 ± 10 в мерзлой части (43–100 см). В пределах нижней границы СТС выявлено локальное увеличение концентрации N, а также почти 2-кратное уменьшение отношения C/N. Вероятнее всего это связано с тем, что на границе СТС и мерзлой торфоганогенной породы (МТП), как было показано в работе Моргалев с соавторами [4], происходит резкое увеличение микробной активности. Несмотря на то, что имеется равное отношение количества аэробных жизнедеятельных клеток в СТС и МТП, в СТС наблюдается снижение микробной активности, что свидетельствует о его истощенности. Микробная активность в зоне вечной мерзлоты является немаловажным фактором, оказывающим существенное влияние на цикл органического углерода и азота в условиях изменения климата [5].

В работе В. А. Степановой [6] было показано, что талые болота Западной Сибири имеют тенденцию постепенного снижения концентрации химических элементов от основания торфяной залежи к её поверхности. Для проверки наличия подобного тренда для изученного болота нами были рассчитаны средние значения концентраций, стандартные отклонения и коэффициенты вариации для СТС (0-43 см) и МТП (43-100 см) залежи. Оказалось, что средние значения содержания многих элементов в СТС выше, чем в МТП. Однако статистически значимые различия с использованием U-критерия Манна-Уитни ($p < 0.05$) для концентраций элементов в СТС и МТП были выявлены лишь для N, Na, Mg, Ca, Zn, Ba, As, Nb и Sb. При этом Na, Mg, Ca, Zn, As и Sb имеют статистически достоверно большее содержание в СТС, чем МТП, а концентрации N, Ba и Nb наоборот, достоверно выше в МТП. Однако несмотря на наличие достоверных различий лишь для 9 элементов утверждаем, что различия средних имеют физический смысл. Чтобы продемонстрировать это мы сравнили значения верхних квартилей концентраций рассматриваемых элементов для СТС и МТП. Для Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, Fe, Zn, Li, B, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu верхние квартили концентраций в сезонно-талом слое в 1,2-6,9 раза выше, чем в многолетнемерзлом торфе, а для C, N, Al, Ba, B, V, Co, Cu, Zr, Nb, Mo в 1,0-0,6 раза ниже, соответственно. То есть экстремумы 2/3 изученных элементов приурочены к верхней части торфяной залежи. С одной стороны, это обогащение связано с биологическим контролем распределения элементов в органогенных горизонтах, как это известно для других регионов [7]. Однако эти экстремумы не связаны с поверхностью торфяной почвы и скорее всего имеют иную природу.

Обратная картина наблюдается для Al, Ba, B, V, Co, Cu, Zr, Nb и Mo. Средние концентрации этих элементов выше в МТП. Так, содержание Al в сезонно-талом слое составляет 1487 ppm, а в многолетнемерзлом слое

2186 ppm, аналогично для В – 4555 и 6090 ppm, для V – 2000 и 2335 ppm. Концентрация Р в мерзлой и талой частях залежи существенно не отличаются (285 и 210 ppm). Наибольшая концентрация К и Al приурочена к бывшему иллювиальному горизонту, что указывает на некоторое накопление в нём алюмосиликатов на этапах педогенеза, предшествовавших торфонакоплению. Наибольшие концентрации К, Р, Fe приурочены к глубинам 15-20 см, а также к верхней части торфяной залежи. Это может быть связано как с биологической аккумуляцией, так и с ботаническим составом торфа, который здесь представлен лишайниковым типом [8, 9, 10].

Талая часть торфяной залежи характеризуется большими коэффициентами вариации значений концентрации элементов, чем мерзлая: для Al 71 % и 46 %, Р 43 % и 21 %, К 75 % и 34 %, Fe 68 % и 39 %, соответственно. При подсчёте этих величин не учитывался придонный образец торфа. Эти показатели характеризуют большую временную изменчивость условий торфонакопления при образовании верхних слоёв торфа, что связано с формированием криогенного нанорельефа, характеризующегося существенной пространственно-временной динамикой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00281.

Библиографические ссылки

1. IPCC, 2013: Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
2. Новиков С. М. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири // СПб.: ВВМ. 2009. Т. 209. С. 536.
3. Pokrovsky O. S., Manasypov R. M., Loiko S. V., Shirokova L. S. Organic and organo-mineral colloids in discontinuous permafrost zone // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2016. Vol. 188. P. 1–20.
4. Morgalev Y. N., Lushchaeva I. V., Morgaleva T. G. Bacteria primarily metabolize at the active layer/permafrost border in the peat core from a permafrost region in western Siberia // *Polar Biology*. 2017. Vol. 40. P. 1645–1659.
5. Åkerman H. J., Johansson M. Thawing permafrost and thicker active layers in sub-arctic Sweden // *Permafrost and periglacial processes*. 2008. Vol. 19, iss. 3. P. 279–292.
6. Stepanova V. A., Pokrovsky O. S., Viers J. Elemental composition of peat profiles in western Siberia: Effect of the micro-landscape, latitude position and permafrost coverage // *Applied Geochemistry*. 2015. Vol. 53. P. 53–70.
7. Reimann C., de Caritat P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors // *Science of the total environment*. 2005. Vol. 337, iss. 1-3. P. 91–107.

8. *Peteet D., Andreev A., Bardeen W., Mistretta F.* Long term Arctic peatland dynamics, vegetation and climate history of the Pur-Taz region, western Siberia// *Boreas*. 1998. Vol. 27, iss. 2. P. 115–126.
9. *De Caritat P., Reimann C., Bogatyrev I.* Regional distribution of Al, B, Ba, Ca, K, La, Mg, Mn, Na, P, Rb, Si, Sr, Th, U and Y in terrestrial moss within a 188,000 km² area of the central Barents region: influence of geology, seaspray and human activity// *Applied geochemistry*. 2001. Vol. 16, iss. 2. P. 137–159.
10. *González A. G., Pokrovsky O. S.* Metal adsorption on mosses: toward a universal adsorption model // *Journal of colloid and interface science*. 2014. Vol. 415. P. 169–178.