ГЕОХИМИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 550.4
doi: 10.17223/25421379/22/9

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫГОРАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ВЕРХОВОГО БОЛОТА

Людмила Павловна Гашкова

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, Томск, Россия, gashkova-lp@rambler.ru

Аннотация. Комплексное обследование верхового болота в междуречье Бакчара и Иксы позволило установить, что на постпирогенных болотах с выгоревшей растительностью и изменённой структурой верхней части торфяной залежи затруднено перемещение элементов за пределы верхнего нарушенного слоя. Увеличение содержания элементов в верхних слоях торфа на таких участках происходит в среднем в 2–6 раз. На болоте, соседнем с выгоревшим, с сохранившимся растительным покровом, не отмечено такого накопления, но обнаружено перемещение поступивших в результате пожара элементов в более нижние слои торфяной залежи.

Ключевые слова: *постпирогенное верховое болото, торфяная залежь, минеральный состав, накопление элементов, атмосферный перенос, Западная Сибирь*

Источник финансирования: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-44-700005 р_а и администрации Томской области.

Для цитирования: Гашкова Л.П. Оценка влияния выгорания растительности на распределение элементов в торфяной залежи верхового болота // Геосферные исследования. 2022. № 1. С. 118–125. doi: 10.17223/25421379/22/9

Original article
doi: 10.17223/25421379/22/9

INFLUENCE OF FIRE ON THE DISTRIBUTION OF ELEMENTS IN THE PEAT DEPOSIT OF THE BOG

Lyudmila P. Gashkova

Siberian Institute of Agriculture and Peat – a branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia, gashkova-lp@rambler.ru

Abstract. The article is devoted to the comparison of the distribution of elements over peat deposits in post-pyrogenic and adjacent bogs. The object of the study is a drained bog located in the interfluve of Bakchar and Iksa, where a fire occurred in August 2016. The studies were carried out at four sites. In the PG1 site, the vegetation was completely burned out, in the PG2 partly, in the RG and PG3 areas, the vegetation was completely preserved. We found that the average concentration values for all elements, except Fe and Cu, are highest on PG1, which was most affected by the fire. In the post-pyrogenic areas, we noted an increase in the content of all considered elements in the upper layers (0–5 cm) of the peat deposit. The increase in the concentration of elements is explained by the presence in these areas of a layer of charred organic matter formed because of the destruction of plants during a fire and an increase in the degree of decomposition of the upper layer of peat. In the areas adjacent to the burned-out ones, in the upper layers, there is not such a sharp increase, but it persists at great depths, reaching the lowest water level. At a depth of approximately 20 to 50 cm, an increase in the concentration of Cu, Fe and Mn is observed. In the sites PG3 and RG, the maximum average content of Cu and Fe is observed in comparison with the burnt out sites. A correlation was found between the content of elements, which indicates the absence of a significant input of elements from external sources. The concentrations of Na, P, K, and Cd are positively correlated with all the considered elements, except for Ca. In Ca, negative correlation is observed only with Zn, Cd and Pb. A high correlation was found for Ca with the degree of decomposition along the depth of the peat deposit in all areas. The change in the content of Mn, Fe and Cu peat deposits with depth turned out to be very similar; they are mutually correlated with each other, and behave similarly with other elements. Zn and Pb correlate with all elements except Mn, Fe and Cu. Mg behaves in the same way (except for the correlation with Na). Synergism in the behavior of Mn, Fe and Cu is observed in each of the considered areas, and is explained by the affinity of all three elements for soluble organic complexes and the ability to bind in an acidic environment with humic and fulvic acids. Thus, in the post-pyrogenic sites with burnt-

© Гашкова Л.П., 2022

out vegetation, an increase in the content of all the considered elements in the upper layers of the peat deposit was noted. The increase in the concentration of elements is explained by the presence of a layer of charred organic matter in these areas and the almost complete absence of living plants.

In the sites adjacent to the burned-out, in the upper layers, a not so sharp, but more prolonged in depth increase in concentration is observed.

Keywords: *post-pyrogenic raised bog, peat deposit, mineral composition, accumulation of elements, atmospheric transport, Western Siberia*

Acknowledgments: Post-pyrogenic transformation of mires in Western Siberia: environmental consequences and recovery dynamics (RFBR №18-44-700005).

For citation: Gashkova, L.P. (2022) Influence of fire on the distribution of elements in the peat deposit of the bog. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research.* 1. pp. 118–125. doi: 10.17223/25421379/22/9

Введение

Начиная со второй половины XX в. на болотах Западной Сибири зафиксировано значительное увеличение пожарной активности, связанной, вероятно, с деятельностью человека [Lamentowicz et al., 2015]. В результате пожаров высвобождается множество элементов, накопившихся в растениях и торфе. Основными загрязнителями, образующимися после пожаров, становятся древесный уголь, зола, смолы и летучие твердые органические частицы с неорганическими включениями, входящие в состав дыма [Posfai et al., 2003; Hand et al., 2005]. Древесная зола и пепел при попадании в почву увеличивают содержание микроэлементов в ней, вызывая накопление некоторых элементов в корневой системе растений [Cruz-Paredes et al., 2017].

Во время пожара элементы распределяются поразному: одни из них вовлекаются в атмосферный перенос (Hg, Cd, Mn, Zn и Cs), остальные (в том числе Fe, Al, K, Na, Co, Ni, Pb, Cu, Ba, Sr, Mg, V) накапливаются на месте горения [Журкова, Щербов, 2016]. По другим данным, в аэрозолях после торфяного и лесного пожара, по сравнению с городскими аэрозолями, повышено содержание Mn, Fe и иных элементов. При сжигании биомассы в составе летучей золы преобладают водорастворимые ионы сульфаты кальция и карбонаты [Popovicheva et al., 2014]. На распределение элементов в торфяных отложениях влияет ряд факторов: эндогенное поступление элементов, активность окислительно-восстанови-тельных процессов, процессы растворения и мобилизации элементов корнями растений, скорость разложения торфа и уровень воды в торфяниках [Veretennikova et al., 2021]. Распределение по глубине торфяной залежи высвободившихся в процессе сгорания биомассы элементов в условиях осушенного болота осложняется. После осушения увеличивается колебание уровня болотных вод в течение года, сглаживаются границы акротельма и катотельма, благодаря чему изменяется адсорбция элементов в торф из воды [Савичев и др., 2021].

Цель нашей работы состояла в том, чтобы выявить разницу распределения элементов по глубине торфяной залежи на постпирогенных болотах с выгоревшей растительностью и соседних с ними болотах.

Объекты и методы

Объектом исследования является осушенное болото, расположенное в пределах Бакчарского болотного массива, в бассейне р. Гавриловка, на котором произошел пожар в августе 2016 г. (56°51' с.ш., 82°41' в.д.). До пожара растительность на всех участках болота представляла собой сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз. Три участка, в разной степени пострадавшие от пожара, расположены на одной линии, перпендикулярной осушительному каналу. Наиболее пострадал от пожара участок, расположенный в непосредственной близости к каналу (ПГ1), на нем выгорела вся надземная часть растений. Средний уровень болотных вод (УБВ) на ПГ1 в год отбора проб находился на уровне –51 см. Залежь представлена фускум-торфом, но в слое торфа от 70 до 75 см добавляются мочажинные виды сфагнумов, образуя комплексный верховой торф.

Следующий участок, расположенный примерно в 50 м от канала (ПГ2), менее пострадал от пожара. Выгорели полностью только понижения. На кочках сохранился моховой покров из *Sphagnum fuscum,* но надземная часть травяно-кустарничкового и древесного яруса полностью выгорела. УБВ находился на уровне –32 см. Торфяная залежь до 1 м сложена фускум-торфом. Растительность участка, расположенного в 100 м от канала (ПГ3), не пострадала. УБВ на нём находился на –34 см. Залежь представлена в основном фускум-торфом, но от 20 до 65 см добавляются мочажинные виды сфагнумов, образуя комплексный верховой торф. Участок РГ, не пострадавший во время пожара, отделен от ПГ1 двумя осушительными каналами, дорогой и 100 м болота. УБВ на РГ находился на –31 см. Ботанический состав торфяной залежи участка РГ однороден, сложен фускум-торфом.

Пробы торфа отбирались из торфяной скважины пробоотборочным торфяным буром в августе 2020 г. на всех исследуемых участках. Шаг отбора менялся от 5 см вверху скважины до 25 см в нижней части, до глубины 1 м. Образцы торфа анализировались на ботанический состав, степень разложения и содержание Pb, Cd, Cu, Fe, Mn, Ca, K, P, Mg, Na.

Концентрация элементов в торфе определялась при помощи метода ICP-MS с предварительной подготовкой проб методом кислотного разложения. Статистический анализ и графическое отражение результатов проводилось при помощи Statsoft Statistica for Windows 6.0. и Excel 7.0. Для оценки зависимости между переменными применялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Сравнение и значимость отличий между выборками устанавливались при помощи непараметрического критерия Манна–Уитни и Краскела–Уоллиса.

Результаты

Исследование ботанического состава торфа показало довольно однородную структуру торфяной залежи, сложенной фускум-торфом и комплексным верховым торфом.

Степень разложения торфа на ПГ1 колеблется от 7 до 20 %, на ПГ2 от 7 до 15 %, на ПГ3 от 3 до 25 %, на РГ от 3 до 20 %. На постпирогенных участках наблюдается изменение структуры в верхнем слое торфяной залежи, связанное с выгоранием растительности.

При сравнении содержания элементов между участками обнаружено, что средние значения концентрации всех элементов, кроме Fe и Cu, самые высокие на ПГ1, наиболее пострадавшем от пожара. Средние концентрации Fe и Cu в 2–3 раза больше на ПГ3 и РГ, расположенных рядом с выгоревшими участками (рис. 1).

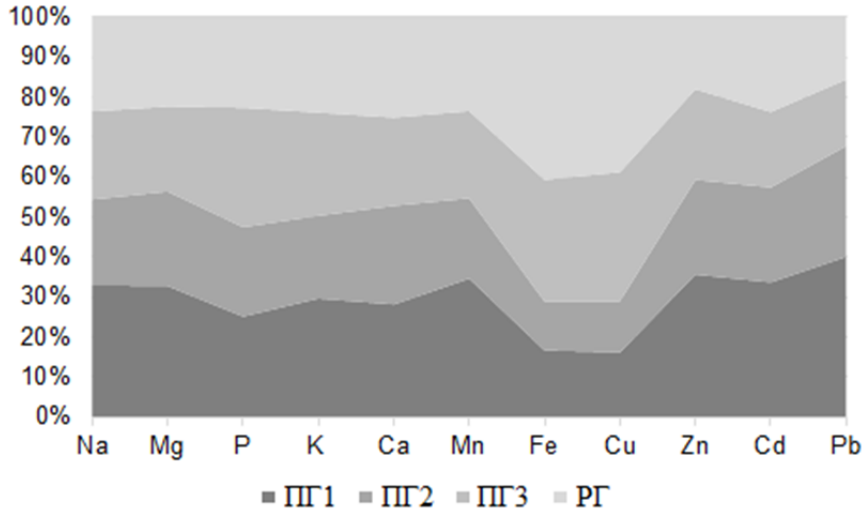

Рис. 1. Нормированная диаграмма с областями и накоплением, отражающая относительный вклад элемента на каждом участке

Fig. 1. Normalized plot with areas and accumulation, reflecting the relative contribution of the element at each site

---

При рассмотрении динамики содержания элементов по глубине торфяной залежи на участке ПГ1 обнаружена высокая корреляция изменения содержания элементов. В верхнем (0–10 см) слое обнаружено синхронное увеличение степени разложения и концентрации всех элементов. Концентрация в верхнем слое торфа, по сравнению с более нижними слоями, выше от 2 (Mg) до 11 раз (Na) для всех рассмотренных элементов. Минимальная концентрация всех элементов зафиксирована на глубине 30–40 см, в более нижних слоях торфяной залежи их содержание незначительно увеличивается от 1,2 (P), до 3 раз (Na) (рис. 2).

На данном участке степень разложения по глубине торфяной залежи коррелирует только с концентрацией Ca в торфе (0,7 при $p < 0,05$). Однако увеличение степени разложения в верхнем слое залежи соответствует увеличению концентрации всех рассмотренных элементов. Кроме того, повышение содержания элементов (кроме P, Cd и Zn) наблюдается ниже 50 см и соответствует увеличению степени разложения до 20 % (рис. 2).

На участке ПГ2 распределение элементов аналогично ПГ1, но снижение их концентрации по глубине более плавное. Исключение составляют концентрации Ca и Mg, у которых небольшое повыше-

ние наблюдается на 15–20 см, а затем, до глубины 1 м, значительно не изменяется. Содержание элементов в верхнем слое, по сравнению со следующим, увеличено от 1,7 (Mg) до 8 (Mn) раз.

Со степенью разложения коррелируют только концентрация Ca (r_s = 0,9) и Mn (r_s = 0,8) при $p < 0,05$, но высокие значения степени разложения в верхнем слое соответствуют повышенной концентрации всех элементов.

На участке ПГ3 в верхнем слое торфа, до глубины 15–20 см, зафиксировано небольшое повышение концентрации элементов. Исключение составляет Ca, максимальное содержание которого наблюдается на глубине 40 см и сохраняется в более нижних слоях торфа. Кроме того, ниже, на глубине 50 см, концентрации элементов Mn, Fe и Cu достигают максимальных значений, происходит увеличение содержания Fe и Cu в 4 раза, а концентрации Mn в 3 раза (рис. 2). На данном участке концентрация гораздо большего числа элементов коррелирует со степенью разложения по глубине торфяной залежи. Положительная корреляция концентрации в торфяной залежи наблюдается с содержанием Ca (r_s = 0,8), отрицательная – с содержанием Na (r_s = –0,9), P (r_s = –0,9), K (r_s = –0,7), Zn (r_s = –0,7), Pb (r_s = –0,7) при $p < 0,05$. Наиболее высокая степень разложения торфа на данном участке (рис. 3) совпадает с увеличением концентрации Mn, Fe и Cu на глубине 50 см. Также на глубине торфа 50 см отмечено небольшое (в 1,2 раза) увеличение концентрации Cd.

Особенностью участка РГ является наиболее неоднородное распределение элементов по глубине торфяной залежи. Наибольшие амплитуды колебаний характерны для концентраций Fe и Cu. У группы элементов (Mn, Fe, Cu) наблюдаются пики концентрации, соответствующие увеличению степени разложения на глубине 5, 30 и ниже 80 см по торфяной залежи, но с разной амплитудой. Концентрации Na, Mg, P, K, Ca синхронно увеличиваются на глубине 15, 50 и ниже 90 см, с возрастанием на данных глубинах степени разложения торфа. Содержание Cd и Pb повышено от поверхности до 20–30 см, далее по глубине концентрация изменяется слабо, сохраняясь почти на одном уровне (рис. 2). Содержание в торфяной залежи ниже 80 см большинства элементов (Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, Mn, Ca, K, Mg, Na) увеличивается одновременно с возрастанием степени разложения. Положительная корреляция наблюдается между степенью разложения и концентрацией Ca в торфе (r_s = 0,8 при $p < 0,05$).

Сравнение концентрации элементов в верхнем слое торфа на участках, в разной степени пострадавших от пожара, показало, что наибольшее содержание элементов на глубине 0–5 см обнаружено на участке ПГ1. Различия по концентрации элементов в верхнем слое торфа между ПГ1 и ПГ2 незначительные, концентрация элементов на ПГ1 выше от 1,3 (K) до 2,3 раз (Zn). На ПГ3 концентрация элементов продолжает снижаться, по сравнению с постпирогенными участками, и содержание элементов в верхнем слое меньше, чем на ПГ1. Снижение колеблется от 1,6 (P), 2,7 (Zn) и до 5 раз (Pb, Mn, Na и Cd). Наибольшее возрастание концентрации на ПГ1, по сравнению с РГ, зафиксировано по содержанию Na (14 раз) и Pb (5 раз). На участке РГ концентрации Fe и Cu в верхнем слое совпадают с концентрациями данных элементов на ПГ1, и выше, чем на других участках. Повышение концентрации элементов в верхних слоях (0–5 см) торфяной залежи на постпирогенных участках с частично или полностью выгоревшим растительным покровом объясняется наличием на данных участках слоя обугленного органического вещества, образовавшегося в результате почти полного уничтожения живых растений во время пожара и, как результат, постпирогенное увеличение степени разложения верхнего слоя торфа. Уровень болотных вод редко поднимается на эту высоту, капиллярная кайма нарушена из-за изменения структуры торфа и отсутствия мохового покрова, торф пересыхает и становится гидрофобным. Совокупность данных условий, сложившихся на постпирогенных участках, приводит к тому, что элементы сконцентрированы в основном в верхних слоях торфа.

В слое торфа 5–10 см повышение концентрации элементов связаны в основном с увеличением степени разложения торфа. Исключение составляет повышение, по сравнению с другими участками, концентрации P, K, Na, Cu, Fe, Zn, Cd, Pb и Mg на участке ПГ3 в торфе с низкой степенью разложения. Данное повышение концентрации связано с расположением участка ПГ3, окруженного гарями. Во время пожара данный слой торфа находился на поверхности и активно поглощал элементы из дыма.

В более нижних слоях торфа на постпирогенных участках концентрация Fe и Cu снижается, в то время как на соседних с ними ПГ3 и РГ на той же глубине концентрация данных элементов увеличивается вместе со степенью разложения. Благодаря увеличению концентрации Cu и Fe на участках ПГ3 и РГ наблюдается максимальное среднее содержание данных элементов по сравнению с гарями.

Такое распределение объясняется тем, что на участках, соседних с выгоревшими, полностью сохранились растительность и, следовательно, естественная капиллярная кайма, при условии того, что модуль аэрального поступления некоторых элементов был даже выше, чем в пределах выгоревших участков [Харанжевская и др., 2019].

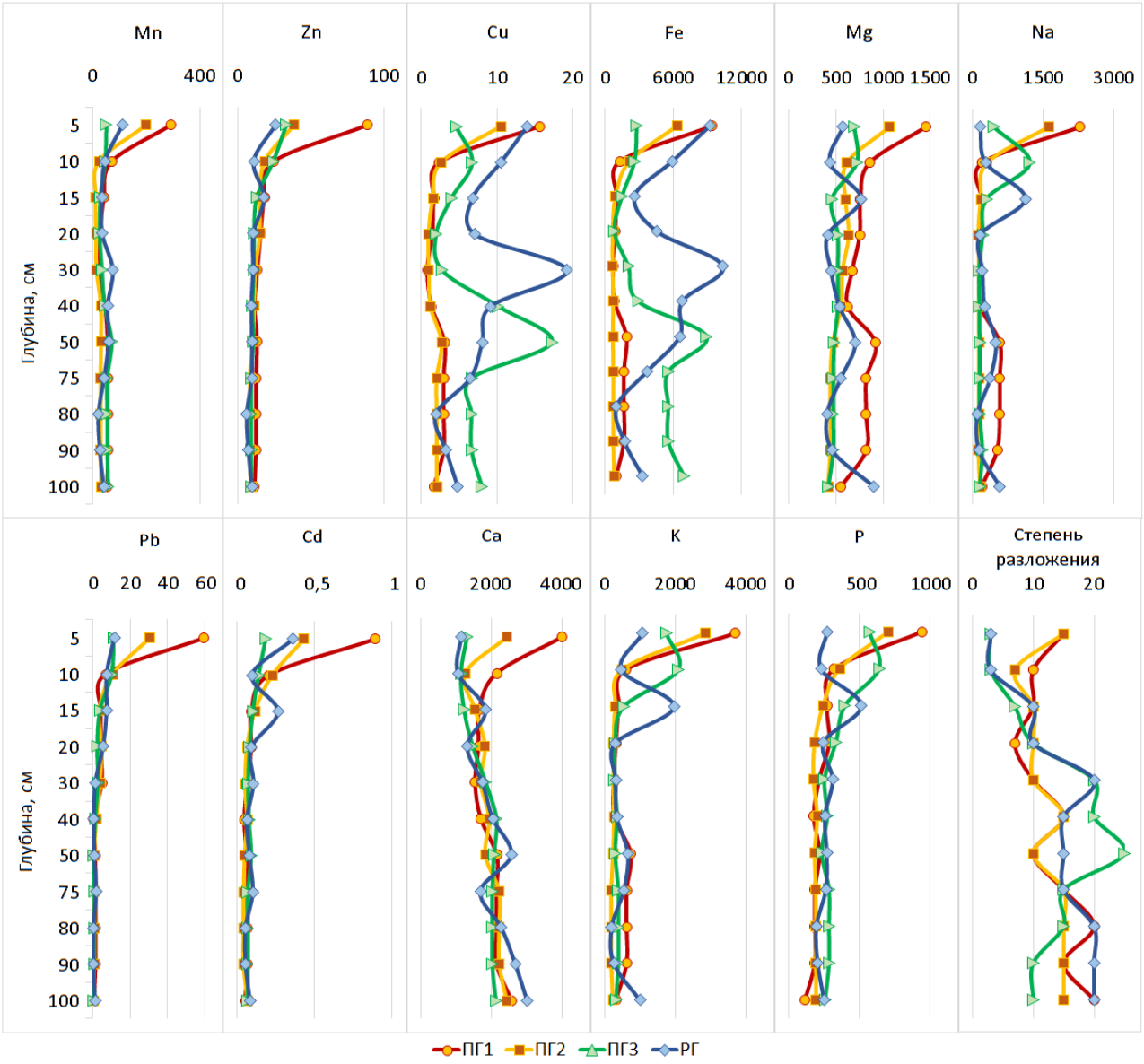

Рис. 2. Содержание элементов (мг/кг) в сухой массе и степень разложения торфа (%) по глубине торфяной залежи на исследованных участках

Fig. 2. The content of elements (mg/kg) in the dry mass and the degree of decomposition of peat (%) of the peat deposit in the studied sites

В таком случае элементы, мигрируя на соседние участки с атмосферным переносом в виде аэрозолей, при попадании на поверхность легко вымываются в более низкие слои, что характерно для почв прохладного и влажного климата [Kabata-Pendias, 2010]. Кроме того, микроэлементы активно перемещаются болотными водами с соседних участков [Харанжевская, Синюткина, 2021].

Осаждение поступивших элементов происходит преимущественно в слоях с высокой степенью разложения. Такие слои образуются на осушенных болотах в первые годы после осушения и характеризуются повышенной плотностью [Sinyutkina, 2021].

Высокая корреляция обнаружилась у Ca со степенью разложения по глубине торфяной залежи на всех участках. Синергизм в поведении Mn, Fe и Cu наблюдается на каждом из рассмотренных участков и объясняется сродством всех трех элементов к растворимым органическим комплексам и способностью связываться в кислой среде с гуминовыми и фульвокислотами [Kabata-Pendias, 2010].

Обсуждение результатов

Сравнение полученных нами данных показало, что концентрация элементов в верхнем слое торфа участка ПГ1 превышает данные для аналогичных ненарушенных болот. Например, содержание Cu на участках ПГ1 и РГ превышает концентрацию данного элемента в торфах с болот Кировской области в 100 раз, а содержание Zn на ПГ1 больше в 43 раза [Шихова и др., 2016]. Концентрации элементов в торфе болота Чистое в Томской области [Архипов, 2017] ближе к нашим данным. Так, содержание Ca на ПГ1 выше всего в 1,2 раза, Mn – в 2,4, а Fe – в 5 раз. Содержание элементов в торфе Плотниковского болота [Stepanova et al., 2015] меньше, чем на ПГ1, от 1,3 (концентрация Ca) до 22 раз (Pb), содержание остальных элементов больше на постпирогенном участке ПГ1 от 3 до 5 раз. Концентрация элементов в верхнем слое торфяной залежи ненарушенных участков Васюганского болота также ниже, чем на ПГ1 по содержанию Na (50 раз), K (30 раз) и Pb (9 раз) [Savichev et al., 2020], по другим данным наибольшая разница наблюдается для тех же элементов: Na (23 раза), K (40 раз) и Pb (18 раз) [Rudmin et al., 2020].

Таким образом, по сравнению с торфом ненарушенных болот, на постпирогенном участке меньше всего возрастает концентрация Ca (менее 2 раз), а также Mn и Mg (не выше 4 раз) [Stepanova et al., 2015; Архипов, 2017; Rudmin et al., 2020; Savichev et al., 2020]. Наибольшая разница зафиксирована для концентрации в торфе Na, K и Pb [Rudmin et al., 2020; Savichev et al., 2020].

Торф с осушенных участков болот также содержит меньше Pb, чем на ПГ1. По нашим данным, разница достигает 10 раз [Гашкова, 2015], а по данным [Е.С. Гонина и соавт., 2017] концентрация Pb в торфе осушенных болот меньше, чем на постпирогенном участке, в 15 раз. Для концентрации остальных элементов (Cu, Zn и Cd) зафиксирована небольшая разница [Гашкова, 2015; Завгородняя, 2015; Гонина и др., 2017].

Заключение

Таким образом, выгорание растительности коренным образом влияет на накопление элементов и их способность перемещаться по торфяной залежи. Наибольшие концентрации элементов на постпирогенных участках обнаружены в верхних слоях торфяной залежи. Увеличение содержания элементов в верхних слоях происходит в среднем в 2–6 раз. На соседних с пожаром участках сохранившийся растительный покров способствует перемещению элементов вниз по торфяной залежи. В верхнем слое торфа постпирогенного болота, по сравнению с торфом ненарушенных болот, наиболее увеличиваются концентрации Na, K и Pb. Содержание Ca в торфе коррелирует со степенью разложения и значимо не увеличивается на постпирогенных болотах по сравнению с ненарушенными.

Список источников

Архипов В.С. Распределение химических элементов в геохимически сопряженных болотных ландшафтах таежной зоны Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 10. С. 32–40.

Гашкова Л.П. Изменение содержания тяжелых металлов в торфяной залежи болот Томской области в условиях антропогенной нагрузки // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири : материалы Третьей междунар. науч.-практ. конф. Томск, 2015. С. 61–63.

Гонина Е.С., Шихова Л.Н., Савиных М.А. Тяжелые металлы в почвах выработанных торфяников // Реализация методологических и методических идей профессора Б.А. Доспехова в совершенствовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия : материалы Междунар. науч.-практ. конф. МСХА им. К.А. Тимирязева. М., 2017. С. 298–293.

Журкова И.С., Щербов Б.Л. Миграция химических элементов при лесном низовом пожаре (Алтайский край) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2016. Т. 16. С. 30–41.

Завгородняя Р.Е. Микроэлементный состав некоторых торфяных почв Карелии разных сроков освоения // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015. № 8 (153). С. 111–114.

Савичев О.Г., Рудмин М.А., Мазуров А.К. Федченко А.С., Рубан А.С., Даулетова А.Б. Вещественный состав торфов Тимирязевского болота (Томск, западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 3. С. 51–61. DOI: 10.18799/24131830/2021/3/3101

Харанжевская Ю.А., Синюткина А.А., Гашкова Л.П. Интегральная оценка пирогенной нагрузки по содержанию Cu, Pb, Zn и Cd в компонентах Васюганского болота (Западная Сибирь) // Геосферные исследования. 2019. № 4. С. 62–73.

Харанжевская Ю.А., Синюткина А.А. Оценка постпирогенной трансформации химического состава вод участка Васюганского болота // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее : материалы Шестого Междунар. полевого симп. Томск : Изд-во Томс. ун-та, 2021. С. 147–149.

Шихова Л.Н., Гонина Е.С., Уланов А.Н. Содержание элементов-биогенов (цинка и меди) в почвенном компоненте болотных биогеоценозов (на примере торфомассива «Зенгинский» Кировской области) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 2 (51). С. 41–47.

Cruz-Paredes C., López-García Á., Rubæk G.H., Hovmand M.F., Sørensen P., Kjøller R. Risk assessment of replacing conventional P fertilizers with biomass ash: Residual effects on plant yield, nutrition, cadmium accumulation and mycorrhizal status // Science of The Total Environment. 2017. V. 575. P. 1168–1176. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.194

Hand J.L., Malm W.C., Laskin A., Day D., Lee T., Wang C., Carrico C., Carrillo J., Cowin J.P., Collett Jr., Iedema M.J. Optical, physical, and chemical properties of tar balls observed during the Yosemite aerosols characterization study // Journal of Geophysical Research. 2005. V. 110. P. D21210. doi: 10.1029/2004JD005728

Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants: Fourth edition. Boca Raton : CRC Press, 2010. 520 p. doi: 10.1201/b10158

Lamentowicz M., Słowiński M., Marcisz K., Zielińska M., Kaliszan K., Lapshina E., Gilbert D., Buttler A., Fiałkiewicz-Kozieł B., Jassey V.E.J., Laggoun-Defarge F., Kołaczek P. Hydrological dynamics and fire history of the last 1300 years in western Siberia reconstructed from a high-resolution, ombrotrophic peat archive // Quaternary Research. 2015. V. 84 (3). P. 312–325. doi: 10.1016/j.yqres.2015.09.002

Popovicheva O., Kistler M., Kireeva E., Persiantseva N., Timofeev M., Kopeikin V., Kasper-Giebl A. Physicochemical characterization of smoke aerosol during large-scale wildfires: Extreme event of August 2010 in Moscow // Atmospheric Environment. 2014. V. 96. P. 405–414. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.026

Posfai M., Simonics R., Hobbs J., Li P., Buseck P. Individual aerosol particles from biomass burning in southern Africa: I. Comparisons and size distributions of carbonaceous particles // Journal of Geophysical Research. 2003. V. 108. P. D13. doi: 10.1029/2002JD002291

Rudmin M., Wilson M.J., Wilson L., Savichev O., Yakich T., Shaldybin M., Ruban A., Tabakaev R., Ibraeva K., Mazurov A. Geochemical and mineralogical features of the substrates of the Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia // Catena. 2020. V. 194. 104781. doi: 10.1016/j.catena.2020.104781

Savichev O., Soldatova E., Rudmin M., Mazurov A. Geochemical barriers in oligotrophic peat bog (Western Siberia) // Applied Geochemistry. 2020. V. 113. 104519. doi: 10.1016/j.apgeochem.2019.104519

Sinyutkina A. Drainage consequences and self-restoration of drained raised bogs in the south-eastern part of Western Siberia: Peat accumulation and vegetation dynamics // Catena. 2021. V. 205. 105464. doi: 10.1016/j.catena.2021.105464

Stepanova V.A., Pokrovsky O.S., Viers J., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K. Elemental composition of peat profiles in western Siberia: Effect of the micro-landscape, latitude position and permafrost coverage // Applied Geochemistry. 2015. V. 53. P. 53–70. doi: 10.1016/j.apgeochem.2014.12.004

Veretennikova E.E., Kuryina I.V., Dyukarev E.A., Golovatskaya E.A., Smirnov S.V. Geochemical Features of Peat Deposits at Oligotrophic Bogs in the Southern Taiga Subzone of West Siberia // Geochemistry International. 2021. V. 59 (6). P. 618–631. doi: 10.1134/s0016702921050098

References

Arkhipov, V.S. *Raspredeleniye khimicheskikh elementov v geokhimicheski sopryazhonnykh bolotnykh landshaftakh tayozhnoy zony Zapadnoy Sibiri* [Distribution of chemical elements in geochimically conjugated wetland landscapes of the taiga zone in Western Siberia]// Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2017. V. 328 (10). pp. 32–40. In Russian

Gashkova L.P. *Izmeneniye soderzhaniya tyazhelykh metallov v torfyanoy zalezhi bolot Tomskoy oblasti v usloviyakh antropogennoy nagruzki* [Changes in the content of heavy metals in the peat deposits of the swamps of the Tomsk region under anthropogenic load] // Problemy izucheniya i ispol'zovaniya torfyanykh resursov Sibiri: Tret'yey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tomsk, 2015. pp. 61–63. In Russian

Gonina, Ye.S., Shikhova L.N., Savinykh M.A. *Tyazhelyye metally v pochvakh vyrabotannykh torfyanikov* [Heavy metals in soils of exhausted peatlands] // Realizatsiya metodologicheskikh i metodicheskikh idey professora B.A. Dospekhova v sovershenstvovanii adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2017. pp. 298–293. In Russian

Zhurkova I.S., Shcherbov B.L. The Behavior of Chemical Elements in the Forest Grass-Roots Fires (Altai Territory) // The Bulletin Of Irkutsk State University». Series «Earth Sciences». 2016. V. 16. pp. 30–41. In Russian

Zavgorodnyaya R.E. Microelement composition research of Karelian Peat soils at different stages of utilization // Proceedings of Petrozavodsk State University. 2015. № 8 (153). pp. 111–114. In Russian

Savichev O.G., Rudmin M.A., Mazurov A.K., Fedchenko A.S., Ruban A.S., Dauletova A.B. Material composition of peats of the Timiryazevo Mire (Tomsk, Western Siberia) // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2021. V. 332 (3). pp. 51–61. doi: 10.18799/24131830/2021/3/3101. In Russian

Kharanzhevskaya Yu.A., Sinyutkina A.A., Gashkova L.P. Integral estimation of pyrogenic loads on the contents of Cu, Pb, Zn and Cd in the components of the Great Vasyugan Mire (Western Siberia) // Geosphere Research. 2019. No. 4. pp. 62–73. doi: 10.17223/25421379/13/6. In Russian

Kharanzhevskaya Yu.A., Sinyutkina A.A. *Otsenka postpirogennoy transformatsii khimicheskogo sostava vodnogo uchastka Vasyuganskogo bolota* [Evaluation of the post-pyrogenic transformation of the chemical composition of the waters of the Vasyugan swamp area] // Zapadno-sibirskiye torfyaniki i tsikl ugleroda: proshloye i nastoyashcheye. Materialy Shestogo Mezhdunarodnogo polevogo simpoziuma. Izdatel'stvo Tomskogo universiteta. Tomsk 2021. pp. pp. 147–149. In Russian

Shikhova L.N., Gonina Ye.S., Ulanov A.N. Content of biogenic elements (zinc and copper) in soil component of bog biogeocenoses (on example of peatbog Zenginsky in Kirov region) // Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka [Agricultural Science Euro-North-East]. 2016. V. 2 (51). pp. 41–47. In Russian

Cruz-Paredes C., López-García Á., Rubæk G.H., Hovmand M.F., Sørensen P., Kjøller R. Risk assessment of replacing conventional P fertilizers with biomass ash: Residual effects on plant yield, nutrition, cadmium accumulation and mycorrhizal status // Science of The Total Environment. 2017. V. 575. pp. 1168–1176. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.194

Hand J.L., Malm W.C., Laskin A., Day D., Lee T., Wang C., Carrico C., Carrillo J., Cowin J.P., Collett Jr., Iedema M.J. Optical, physical, and chemical properties of tar balls observed during the Yosemite aerosols characterization study // Journal of Geophysical Research. 2005. V. 110. p. D21210. doi: 10.1029/2004JD005728.

Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants: Fourth edition. Boca Raton: CRC Press, 2010. 520 p. doi: 10.1201/b10158

Lamentowicz M., Słowiński M., Marcisz K., Zielińska M., Kaliszan K., Lapshina E., Gilbert D., Buttler A., Fiałkiewicz-Kozieł B., Jassey V.E.J., Laggoun-Defarge F., Kołaczek P. Hydrological dynamics and fire history of the last 1300 years in western Siberia recon-

structed from a high-resolution, ombrotrophic peat archive // Quaternary Research. 2015. V. 84 (3). pp. 312–325. doi: 10.1016/j.yqres.2015.09.002

Popovicheva O., Kistler M., Kireeva E., Persiantseva N., Timofeev M., Kopeikin V., Kasper-Giebl A. Physicochemical characterization of smoke aerosol during large-scale wildfires: Extreme event of August 2010 in Moscow // Atmospheric Environment. 2014. V. 96. pp. 405–414. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.026.

Posfai M., Simonics R., Hobbs J. Li, P., Buseck P. Individual aerosol particles from biomass burning in southern Africa: I. Comparisons and size distributions of carbonaceous particles // Journal of Geophysical Research. 2003. V. 108. pp. D13. doi: 10.1029/2002JD002291

Rudmin M., Wilson M.J., Wilson L., Savichev O., Yakich T., Shaldybin M., Ruban A., Tabakaev R., Ibraeva K., Mazurov A. Geochemical and mineralogical features of the substrates of the Vasyugan Mire, Western Siberia, Russia // Catena. 2020. V. 194. 104781. doi: 10.1016/j.catena.2020.104781

Savichev O., Soldatova E., Rudmin M., Mazurov A. Geochemical barriers in oligotrophic peat bog (Western Siberia) // Applied Geochemistry. 2020. V. 113. 104519. doi: 10.1016/j.apgeochem.2019.104519

Sinyutkina A. Drainage consequences and self-restoration of drained raised bogs in the south-eastern part of Western Siberia: Peat accumulation and vegetation dynamics // Catena. 2021. V. 205. 105464. doi: 10.1016/j.catena.2021.105464

Stepanova V.A., Pokrovsky O.S., Viers J., Mironycheva-Tokareva N.P., Kosykh N.P., Vishnyakova E.K. Elemental composition of peat profiles in western Siberia: Effect of the micro-landscape, latitude position and permafrost coverage // Applied Geochemistry. 2015. V. 53. pp. 53–70. doi: 10.1016/j.apgeochem.2014.12.004

Veretennikova E.E., Kuryina I.V., Dyukarev E.A., Golovatskaya E.A., Smirnov, S.V. Geochemical Features of Peat Deposits at Oligotrophic Bogs in the Southern Taiga Subzone of West Siberia // Geochemistry International. 2021. V. 59 (6). pp. 618–631. doi: 10.1134/s0016702921050098

Информация об авторе:
Гашкова Л.П., кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, Томск, Россия.
E-mail: gashkova-lp@rambler.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about the author:
Gashkova L.P., Cand. Sci. (Geography), Senior Researcher, Siberian Institute of Agriculture and Peat – a branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia
E-mail: gashkova-lp@rambler.ru

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.06.2021; одобрена после рецензирования 21.11.2021; принята к публикации 18.03.2022.

The article was submitted 25.06.2021; approved after reviewing 21.11.2021; accepted for publication 18.03.2022