

Л.В. КАРПЕНКО*, В.Н. УДАЧИН**

*Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН,
660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28, Россия, karp@ksc.krasn.ru**Институт минералогии УрО РАН,
456317, Миасс, Ильменский заповедник, Россия, udachin@mineralogy.ru**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТОРФОВ ЛЕСНОГО БОЛОТА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ
СЫМ-ДУБЧЕССКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (ЗАПАДНО-СИБИРСКАЯ РАВНИНА)**

Впервые представлены результаты исследований валового содержания макро- и микроэлементов в торфяной залежи лесного болота в северной части Сым-Дубчесского междуречья (Красноярский край). Болото образовалось 11 800 л. н. Залежь смешанная и образована низинными, переходными и верховыми торфами лесотопяного и топяного подтипов. Выявлено, что среднее содержание элементов в верховом и переходном типах торфа ниже кларка литосферы. В низинном типе торфа 12 элементов значительно превышают кларк. Средние концентрации элементов в торфах верхового и переходного типов слабо различаются между собой. В торфе низинного типа концентрация части элементов превышает их содержание в верховом и переходном типах торфа от 4 до 20 раз. Сравнительный анализ среднего содержания элементов в различных видах верхового и переходного типов показал, что их величины при смене одного вида другим изменяются незначительно. В низинных видах торфа наибольшей концентрацией элементов отличаются древесно-гипновый, древесный и гипновый виды, слагающие придонную часть залежи. Высокое содержание большинства химических элементов в низинных видах торфа объясняется генезисом болота, богатым водно-минеральным питанием на протяжении 7 тыс. лет, химическим составом растений-торфообразователей, а также сочетанием двух процессов — биогенеза и гидроморфогенеза, которые способствуют накоплению Fe, S, P, Si, Al, Ca, Cu, Mn, Ni, Ba, V, Co. На высокую концентрацию таких макро- и микроэлементов, как K, Cr, Ti, Ge, Se, Zr, повлияли лесные пожары, которые происходили 5030, 5745, 7412 и 7790 лет назад, о чем свидетельствуют пожарные прослойки.

Ключевые слова: лесное болото, голоцен, торфяная залежь, тип и вид торфа, концентрация макро- и микроэлементов.

L.V. KARPENKO*, V.N. UDACHIN**

*V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, str. 28, Russia, karp@ksc.krasn.ru**Institute of Mineralogy, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
456317, Miass, Il'menskii zapovednik, Russia, udachin@mineralogy.ru**ASSESSING THE ELEMENT COMPOSITION OF FOREST SWAMP PEATS
IN THE NORTHERN PART OF THE SYM-DUBCHES INTERFLUVE (WEST SIBERIAN PLAIN)**

*Results from studying the gross content of macro- and microelements in the peat deposits of a forest swamp in the northern Sym-Dubches interfluve (Krasnoyarsk krai) are presented for the first time. The swamp was formed 11 800 years ago. The mixed deposit is formed by fen, transitional and raised bog peats of forest-boggy and swampy subtypes. It is found that the average content of elements in the raised bog and transitional types of peat is below the Clarke lithosphere. In the fen peat 12 elements significantly exceed the lithosphere Clarke. Average concentrations of elements in peats of the transitional and raised bog peat types differ slightly from each other. In the peat of the fen peat type, the concentration of a part of the elements exceeds their content in the raised bog and transitional peats by a factor of 4 to 20. A comparative analysis of the average elemental content in various species of the raised bog and transitional types showed that their values change slightly when one type changes for another. In the fen species of peat, the woody *Hypnum*, woody and *Hypnum* types that compose the bottom part of the deposit are distinguished by the highest concentration of elements. The high content of most chemical elements in the fen peat species is explained by the bog genesis, rich in water and mineral nutrition for seven thousand years, the chemical composition of peat-forming plants as well as by a combination of two processes: biogenesis and hydromorphogenesis, which contribute to the accumulation of Fe, S, P, Si, Al, Ca, Cu, Mn, Ni, Ba, V and Co. The high concentration of macro- and micronutrients, such as K, Cr, Ti, Ge, Se and Zr, was also influenced by forest fires, which occurred 5030, 5745, 7412 and 7790 years ago, as evidenced by fire layers.*

Keywords: forest bog, Holocene, peat deposit, type and species of peat, concentration of macro- and microelements.

ВВЕДЕНИЕ

Красноярский край обладает значительными ресурсами торфяного сырья для перспективного использования его в различных сферах промышленности и сельского хозяйства. По данным ПГО «Новосибирскгеология», в крае имеется 671 торфяное месторождение, площадь которых в промышленных границах составляет 1115 тыс. га, а запас торфа — 3621 млн т [1]. Особенно высокой степенью заболоченности характеризуется левобережная часть Енисея, включая территорию на отрезке между реками Сым и Дубчес. По данным Главторффонда, площадь болот здесь составляет 130 612 га [2]. В настоящее время проведена типизация этих болот, определен абсолютный возраст по ^{14}C , выявлены физико-химические свойства торфа, составлена классификация их видов [3–5]. Однако изучение содержания макро- и микроэлементов в торфяных залежах междуречья до сих пор не проводилось. Поэтому сведения, приведенные в статье, несомненно, имеют теоретическое и практическое значение.

Цель наших исследований — изучение содержания, накопления и распределения валовых форм макро- и микроэлементов в торфе глубоководного олиготрофного болота в долине р. Дубчес (левый приток Енисея). Задачи исследования — определение концентраций элементов в торфах, слагающих залежь болота; выявление закономерностей накопления и рассеяния элементов путем сравнения их средних концентраций в торфе с кларками литосферы; анализ экстремальных и средних значений концентраций элементов по типам торфа (верховой, переходный, низинный); характеристика содержания макро- и микроэлементов в торфах различного ботанического состава.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований послужило олиготрофное лесное болото площадью около 3 км², расположенное в долине нижнего течения р. Хойбы — правого притока р. Дубчес (Красноярский край, 60°49' с. ш., 89°23' в. д.). Оно образовалось в древней ложбине стока талых ледниковых вод, а в его водно-минеральном питании участвовали как атмосферные осадки, так и воды древнеаллювиальных и флювиогляциальных отложений. Подстилающая порода — мелкозернистый бескарбонатный песок. По болотному массиву, кроме р. Хойбы, протекает руч. Развилки. Растительный покров гряд и торфяных бугров образован сосново-кустарничково-сфагновыми (рямовыми) фитоценозами с довольно хорошо развитым древесным ярусом из болотной сосны. Сильно обводненные мезо-олиготрофные мочажины заняты осоково-сфагновыми и шейхцериево-сфагновыми фитоценозами. Подробное описание растительности болота территории исследований приведено ранее [6].

В периферийной части болотного массива был заложен разрез, мощность торфа в котором составляла 4,15 м. В разрезе от поверхности до основания залежи сплошной колонкой в каждом 5-сантиметровом слое отобраны образцы торфа на анализ макро- и микроэлементного состава (83 образца). Отбиралась также проба из придонного слоя болота. При бурении залежи на глубинах 265–270, 290–295, 315–320 и 320–325 см выявлены пожарные прослойки и угли.

Элементный состав торфа определен в воздушно-сухих пробах после вскрытия смесью кислот $\text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{HF}$ в стеклоглеродных тиглях из навесок в 200 мг, тройного упаривания, сведения конечной аликвоты к объему 100 мл 1 н HNO_3 и анализа методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (масс-спектрометр Agilent 7700x). Такие методики использовались ранее при анализе торфов [7, 8]. Общее количество определенных элементов в каждой пробе — 54. Анализ физико-химических свойств торфа — степени разложения, зольности и ботанического состава торфа — выполнен по общепринятым методикам [9, 10]. Возраст образцов торфа получен на основе радиоуглеродного датирования торфа методом ускорительной масс-спектроскопии (3-MV Tandetrion accelerator) в Институте биогеохимии им. Макса Планка (Йена, Германия) [11]. Гидрологический режим болота рассчитан по методу Г.А. Елиной и Т.К. Юрковской [12] через понятие «индекс влажности». Оценка коэффициентов концентрации (КК) элементов в торфах различного типа исследованного болота проведена с использованием кларков элементов в верхней части континентальной земной коры [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Болото в своем развитии прошло три стадии: 4,15–2,55 м — низинную, 2,55–1,45 м — переходную и 1,45–0 м — верховую. Временные границы этих стадий подтверждены 11 радиоуглеродными датами (рис. 1). Развитие болота на месте бурения началось в позднеледниковье и голоцене — 11 800 л. н. Смены видов торфа были вызваны, вероятно, перестройкой водно-минерального питания и гидроло-

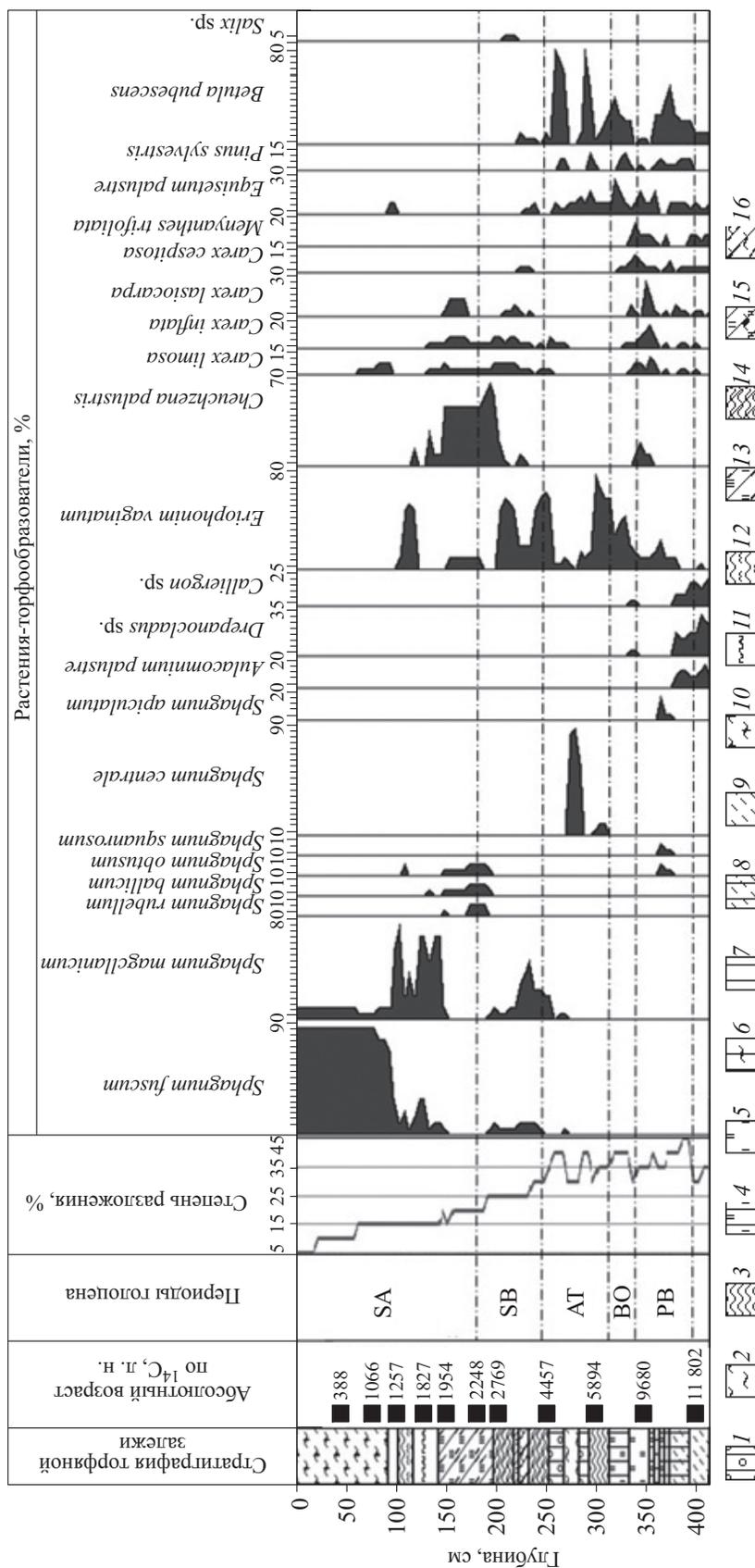


Рис. 1. Стратиграфия торфяной залежи и процентное содержание растений-торфообразователей.

Низинные виды торфа: 1 — березовый, 2 — сфагновый, 3 — пушицевый, 4 — древесно-травяной, 5 — травяной, 6 — древесно-сфагновый, 7 — древесный, 8 — древесно-гипновый, 9 — гипновый. Верховые виды торфа: 10 — фускум-торф, 11 — мелдум-торф, 12 — пушицевый. Переходные виды торфа: 13 — шейхцериевый, 14 — пушицевый, 15 — травяно-сфагновый, 16 — сфагновый.

гического режима (отмечается варьирование индекса влажности от 2,1 до 7,8), а также плавным изменением климата на протяжении голоцена и лесными пожарами. Залежь разреза смешанная и образована низинными, переходными и верховыми торфами лесотопяного и топяного подтипов древесной, древесно-травяной, древесно-моховой, травяной и моховой групп. Величины степени разложения и зольности торфов зависят от ботанического состава и глубины залегания слоев. Так, степень разложения у верховых видов торфа варьирует от 5 до 15,5 %, а зольность — от 2,2 до 4,4 %, у переходных — от 15 до 25 и от 2,7 до 6,3 %, у низинных — от 30 до 45 % и от 6,9 до 18,7 % соответственно. Реакция среды в верхней и средней частях торфяной залежи кислая (3,5–4,2), в нижней — слабокислая (5,5). Органоминеральное основание (ОМО) на глубине 4,15–4,2 м на 30 % состоит из мелкозернистого песка, остальная часть приходится на сильно разложенные растительные остатки гипновых мхов, вахты, хвоща, коры березы и сосны.

Сравнительная оценка кларков литосферы и среднего содержания элементов в торфе показала, что в верховом и переходном типах торфа их концентрация ниже кларка. Верховой торф характеризуется повышенной концентрацией теллура (КК = 10) и незначительной — висмута (КК = 1,5). В торфе низинного типа, особенно в придонных слоях залежи (интервал глубин 4,15–3,15 м), концентрация 12 элементов заметно превышает кларк элементов в земной коре (табл. 1). Так, значительное превышение характерно для Se (14,0–28,6 раза) и Te (16–47 раз). Меньшим превышением характеризуются As — в 4,6–9 раз, Yb — в 3–3,9, Bi — в 2,3–13,9 раза. Величины КК таких элементов, как Co, Ni, Mo, Cd, Hf, Ge, U, варьируют от 1,2 до 1,9. Остальные элементы рассеяны.

Рассмотрим далее величины экстремальных и средних значений концентраций элементов по типам торфа (табл. 2). Средние значения большинства элементов в торфах верхового и переходного типов близки между собой. В верховом типе торфа отмечается относительно более повышенная концентрация таких элементов, как Mg, K, Li, Mn, Zn, Cd, Sn и Pb. Переходный тип торфа характеризуется некоторым концентрированием Ca, Fe, Al, V, Ni, Mo, Ba. Содержание этих элементов выше, чем в верховом торфе, в 1,5–2 раза. Низинный тип торфа отличается значительно более высоким средним содержанием почти всех химических элементов. Так, содержания K, Na, Fe, Al в этом типе торфа превышают их концентрацию в верховом примерно в 8, 8, 6 и 17 раз, а в переходном — в 11, 10, 5 и 16 раз соответственно. Концентрация Li, Se, Mn, Co, Ni в низинном торфе выше по сравнению с верховым в 24, 13, 2, 19 и 8 раз, а в переходном — в 9, 10, 3, 13 и 4 раза соответственно. Средняя концентрация редкоземельных элементов, таких как Pr, Nd, Sm, Yb и др., значительно превышает их концентрацию в верховом и переходном типах торфа.

Анализ средних концентраций элементов в торфах различного ботанического состава, слагающих залежь, свидетельствует об их значительных различиях. Верховая часть залежи мощностью 1,45 м об-

Таблица 1

Кларки элементов в земной коре, среднее содержание элементов в низинных видах торфа северной части Сым-Дубчесского междуречья (мг/кг) и кларки их концентраций (КК)

| Элемент | Кларк | Вид торфа | | | | | | | | | |
|---------|-------|-------------------|------|--------------------|------|-----------|------|-------------------|------|----------|------|
| | | древесно-травяной | | древесно-сфагновый | | березовый | | древесно-гипновый | | гипновый | |
| | | мг/кг | КК | мг/кг | КК | мг/кг | КК | мг/кг | КК | мг/кг | КК |
| Co | 18 | — | — | — | — | 21 | 1,2 | 27 | 1,5 | — | — |
| Ni | 58 | — | — | — | — | — | — | 69 | 1,2 | — | — |
| Mo | 1,1 | — | — | 1,67 | 1,5 | 1,34 | 1,2 | 2,12 | 1,9 | 1,42 | 1,3 |
| Cd | 0,13 | — | — | 0,15 | 1,1 | 0,23 | 1,8 | 0,25 | 1,9 | 0,16 | 1,2 |
| As | 1,7 | 7,9 | 4,6 | 11,2 | 6,6 | 15,4 | 9,0 | 13,7 | 8,0 | 10,7 | 6,3 |
| Se | 0,05 | 0,7 | 14,0 | 1,19 | 23,0 | 1,43 | 28,6 | 1,32 | 26,4 | 1,1 | 22,0 |
| Te | 0,001 | 0,016 | 16,0 | 0,038 | 38,0 | 0,047 | 47,0 | 0,037 | 37,0 | 0,027 | 27,0 |
| Yb | 0,33 | — | — | 1,04 | 3,1 | 1,18 | 3,6 | 1,31 | 3,9 | 0,99 | 3,0 |
| Hf | 1 | — | — | 1,89 | 1,9 | 1,56 | 1,5 | 1,89 | 1,9 | 1,14 | 1,1 |
| Ge | 1,4 | — | — | — | — | 2,26 | 1,6 | 2,07 | 1,5 | 1,78 | 1,2 |
| Bi | 0,009 | 0,021 | 2,3 | 0,117 | 13,0 | 0,124 | 13,8 | 0,125 | 13,9 | 0,055 | 6,1 |
| U | 2,5 | — | — | — | — | — | — | 3,10 | 1,2 | — | — |

Примечание. Прочерк — содержание элемента ниже кларка.

Экстремальные и средние значения концентраций химических элементов в торфах различного типа северной части Сым-Дубчесского междуречья, мг/кг

| Элемент | Тип торфа | | | Элемент | Тип торфа | | |
|---------|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | верховой, n = 25 | переходный, n = 16 | низинный, n = 29 | | верховой, n = 25 | переходный, n = 16 | низинный, n = 29 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Ca | 2145 – 4983 3575,28 | 2358 – 10 795 5269,78 | 298 – 7333 3836,22 | As | 0,09 – 2,66 0,37 | 0,09 – 0,38 0,17 | 0,15 – 19,0 6,34 |
| Mg | 433 – 1283 809,82 | 408 – 833 648,91 | 570 – 1985 934,64 | Se | 0,02 – 0,12 0,06 | 0,03 – 0,11 0,06 | 0,12 – 1,56 0,70 |
| K | 83 – 2445 245,10 | 100 – 248 163,83 | 95 – 7195 1915,31 | Rb | 0,23 – 4,67 0,56 | 0,28 – 0,84 0,51 | 0,31 – 27,0 7,11 |
| Na | 50 – 525 157,08 | 75 – 150 118,06 | 37 – 4845 1200,86 | Sr | 9,0 – 35,0 24,6 | 17,0 – 43,0 32,37 | 32,0 – 56,0 44,09 |
| Fe | 460 – 1323 679,74 | 405 – 1250 792,91 | 1200 – 10 058 3860,14 | Y | 0,16 – 0,62 0,33 | 0,30 – 0,54 0,40 | 0,33 – 17,3 4,35 |
| Al | 474 – 1188 809,05 | 626 – 1130 853,63 | 619 – 51 430 13 480,08 | Zr | 0,20 – 0,75 0,44 | 0,35 – 0,70 0,52 | 0,37 – 80,0 19,90 |
| Li | 0,039 – 0,35 0,11 | 0,051 – 0,151 0,09 | 0,029 – 11,7 2,61 | Nb | 0,002 – 0,070 0,03 | 0,008 – 0,056 0,03 | 0,007 – 8,04 1,97 |
| Be | 0,014 – 0,034 0,02 | 0,019 – 0,069 0,04 | 0,03 – 1,23 0,35 | Mo | 0,001 – 0,105 0,05 | 0,034 – 0,188 0,11 | 0,04 – 2,80 0,74 |
| Sc | 0,09 – 0,24 0,18 | 0,11 – 0,34 0,22 | 0,16 – 8,21 2,36 | Cd | 0,077 – 0,148 0,11 | 0,028 – 0,073 0,05 | 0,035 – 0,261 0,13 |
| Ti | 11,3 – 94,1 24,17 | 16,5 – 40,6 26,47 | 14,7 – 2765 639,15 | Sn | 0,008 – 0,29 0,10 | 0,012 – 0,094 0,05 | 0,038 – 1,28 0,32 |
| V | 1,49 – 6,82 2,83 | 2,80 – 6,93 4,38 | 3,87 – 101,0 28,81 | Sb | 0,019 – 0,078 0,04 | 0,015 – 0,032 0,02 | 0,018 – 0,58 0,19 |
| Cr | 0,99 – 15,2 2,74 | 1,33 – 3,03 1,94 | 1,29 – 76,0 19,31 | Te | 0,009 – 0,016 0,01 | <0,009 | 0,009 – 0,047 0,03 |
| Mn | 5,94 – 435,0 27,25 | 9,17 – 21,5 13,53 | 16,7 – 111,0 48,04 | Cs | 0,015 – 0,155 0,04 | 0,023 – 0,070 0,04 | 0,022 – 2,73 0,71 |
| Co | 0,21 – 0,54 0,34 | 0,39 – 0,73 0,49 | 0,51 – 31,0 6,36 | Ba | 13,9 – 53,4 25,99 | 27,0 – 70,4 48,91 | 55,8 – 267,9 117,31 |
| Ni | 1,51 – 4,52 2,32 | 2,66 – 6,69 4,38 | 3,78 – 92,0 18,36 | La | 0,27 – 0,79 0,49 | 0,33 – 0,62 0,52 | 0,38 – 24,2 5,83 |
| Cu | 1,22 – 5,28 2,09 | 1,93 – 4,28 2,62 | 1,40 – 41,0 11,64 | Ce | 0,27 – 1,86 1,09 | 0,70 – 1,38 1,18 | 0,81 – 48,7 12,29 |
| Zn | 7,34 – 28,0 13,17 | 5,15 – 16,4 8,75 | 6,12 – 29,0 12,67 | Pr | 0,061 – 0,217 0,12 | 0,078 – 0,182 0,13 | 0,087 – 4,76 1,25 |
| Ge | 0,04 – 0,09 0,06 | 0,038 – 0,075 0,06 | 0,051 – 2,37 0,72 | Nd | 0,22 – 0,85 0,48 | 0,31 – 0,68 0,50 | 0,34 – 19,0 4,87 |
| Sm | 0,041 – 0,200 0,09 | 0,063 – 0,132 0,09 | 0,070 – 3,570 0,98 | Lu | 0,002 – 0,006 0,00 | 0,003 – 0,009 0,005 | 0,005 – 0,214 0,06 |
| Eu | 0,010 – 0,038 0,02 | 0,015 – 0,024 0,02 | 0,018 – 0,940 0,24 | Hf | 0,004 – 0,019 0,008 | 0,009 – 0,021 0,01 | 0,10 – 2,05 0,53 |
| Gd | 0,046 – 0,201 0,10 | 0,070 – 0,137 0,11 | 0,074 – 3,91 1,02 | Ta | <0,001 | <0,001 | 0,001 – 0,57 0,23 |
| Tb | 0,005 – 0,023 0,01 | 0,009 – 0,017 0,01 | 0,010 – 0,50 0,14 | W | <0,001 | <0,001 | 0,001 – 0,89 0,41 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Dy | $\frac{0,034 - 0,119}{0,06}$ | $\frac{0,046 - 0,089}{0,07}$ | $\frac{0,052 - 2,76}{0,80}$ | Tl | <0,001 | <0,001 | $\frac{0,001 - 0,474}{0,13}$ |
| Ho | $\frac{0,005 - 0,021}{0,01}$ | $\frac{0,009 - 0,017}{0,01}$ | $\frac{0,010 - 0,54}{0,15}$ | Pb | $\frac{0,38 - 3,48}{1,35}$ | $\frac{0,19 - 0,79}{0,41}$ | $\frac{0,08 - 13,8}{3,49}$ |
| Er | $\frac{0,017 - 0,063}{0,04}$ | $\frac{0,033 - 0,053}{0,04}$ | $\frac{0,037 - 1,76}{0,51}$ | Bi | $\frac{0,001 - 0,033}{0,014}$ | $\frac{0,001 - 0,006}{0,003}$ | $\frac{0,002 - 0,137}{0,04}$ |
| Tm | $\frac{0,001 - 0,007}{0,00}$ | $\frac{0,003 - 0,009}{0,01}$ | $\frac{0,004 - 0,252}{0,07}$ | Th | $\frac{0,037 - 0,123}{0,081}$ | $\frac{0,064 - 0,139}{0,095}$ | $\frac{0,074 - 4,33}{1,2}$ |
| Yb | $\frac{0,014 - 0,049}{0,03}$ | $\frac{0,025 - 0,048}{0,04}$ | $\frac{0,03 - 1,44}{0,45}$ | U | $\frac{0,017 - 0,100}{0,041}$ | $\frac{0,025 - 0,063}{0,045}$ | $\frac{0,062 - 3,59}{0,85}$ |

Примечание. В числителе – min и max, в знаменателе – среднее, n – количество образцов данного вида торфа.

разована тремя видами торфа: фускум-, медиум-торфом и пушицевым. Установлено, что фускум-торф отличается повышенным содержанием K, Cr, Mn, As, Sb, Cs, Pb, Bi. В медиум-торфе отмечено слабое увеличение концентрации Ca и Na, а в пушицевом — Nb, Be, Ge, Zr. В целом средние значения всех элементов при смене одного верхового вида торфа другим различаются незначительно. Необходимо только отметить, что в поверхностном слое торфяника (0–20 см, моховой очес из сфагнома бурого (*Sphagnum fuscum*)) средние значения некоторых элементов превышают таковые в нижележащем слое фускум-торфа (20–95 см). Так, концентрации щелочных и щелочноземельных элементов — K, Na, Rb, Cs, Ba — превышают среднее их значение в 15, 4, 12, 4 и 2 раза соответственно. Содержание тяжелых металлов — Mn, Cu, Zn, Pb — также выше их средних значений в 44, 3, 2 и 2 раза соответственно. Наблюдается превышение над средним для ряда элементов: Rb — в 12, Sb — в 3, Cs — в 4 раза соответственно.

Повышенная концентрация элементов в верхней части залежи часто объясняется трансграничным переносом антропогенных аэрозолей и осаждением их в различных компонентах лесных экосистем, в том числе болот [14]. Однако район исследований значительно удален от крупных промышленных центров. О слабой запыленности атмосферы над территорией Западной Сибири указывалось ранее [15]. По данным автора, «современный уровень атмосферных выпадений невелик и их содержание в сфагновых мхах соответствует уровню фоновых территорий» (с. 69). Вероятнее всего, основную роль в повышении концентрации элементов в моховом очесе болота играют региональные и локальные лесные пожары. Кроме того, повышенное содержание некоторых элементов в моховом слое залежи можно объяснить и их биологической аккумуляцией [16]. Анализ средних значений концентраций элементов по видам переходного торфа — шейхцериевого, сфагнового и пушицевого (мощность слоя 0,8 м) — показал, что их величины при смене одного вида другим также изменяются слабо. Можно только отметить, что шейхцериевый торф отличается немного повышенным содержанием Zn и Pb по сравнению со сфагновым (в 18,8 и 1,8 раза) и пушицевым (в 1,4 и 2,5 раза соответственно). Сфагновый торф характеризуется более повышенной, чем шейхцериевый и пушицевый, концентрацией Ca. В пушицевом торфе концентрация Fe, Mn, Mo, Ba больше, чем в шейхцериевом, в 2,2, 1,7, 3,1 и 1,6 раза соответственно, а Cd больше, чем в сфагновом, в 1,6 раза.

Сравнительная оценка содержания химических элементов в низинных видах торфа показала, что наибольшей концентрацией характеризуются древесно-гипновый, древесный и гипновый виды (табл. 3), слагающие придонную часть залежи (глубина 370–415 см). Максимальным накоплением элементов среди низинных видов торфа отличается древесно-гипновый. В нем средняя концентрация Mg, K, Na, Li, Cr, Be, Ti, Mn, Co, Ni, Cu, Y, Sr, Zr, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Pr, Nb, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, W, Tm, Lu, Yb, Ti, U значительно превышает таковую в остальных видах торфа. Древесный торф максимально концентрирует Fe, Al, Sc, V, Ge, As, Se, Cs, Ta, Pb, Th, гипновый — Rb. В остальных видах низинного торфа — сфагновом, березовом, древесно-травяном и древесно-сфагновом — концентрация всех химических элементов ниже (рис. 2). Придонный слой (ОМО на глубине 415–420 см) имеет низкие концентрации типоморфных для минеральной основы элементов — Li, Be, Sc, V, Cr, Zr, Nb, Sr, Rb. В этом слое содержание почти всех исследованных элементов, кроме Al,

Содержание химических элементов в придонных слоях низинных видов торфа северной части Сым-Дубчесского междуречья, мг/кг

| Элемент | Вид торфа | | | Элемент | Вид торфа | | |
|---------|-----------|-------------------|----------|---------|-----------|-------------------|----------|
| | березовый | древесно-гипновый | гипновый | | древесный | древесно-гипновый | Гипновый |
| Ca | 450 | 539 | 399 | Sn | 0,970 | 1,17 | 0,58 |
| Mg | 1510 | 1590 | 1371 | Sb | 0,43 | 0,55 | 0,29 |
| K | 3758 | 6274 | 5404 | Te | 0,047 | 0,037 | 0,027 |
| Na | 3220 | 4179 | 3570 | Cs | 2,54 | 2,49 | 1,28 |
| Fe | 9950 | 7249 | 5493 | Ba | 199 | 226 | 190 |
| Al | 45 980 | 43 129 | 37 029 | La | 12,9 | 19,3 | 15,1 |
| Li | 8,80 | 10,5 | 5,29 | Ce | 25,6 | 40,5 | 31,6 |
| Be | 1,04 | 1,14 | 0,69 | Pr | 3,01 | 3,90 | 3,14 |
| Sc | 8,16 | 7,46 | 4,39 | Nd | 10,60 | 15,9 | 11,8 |
| Ti | 2320 | 2329 | 1336 | Sm | 2,87 | 2,98 | 2,37 |
| V | 91 | 86 | 50 | Eu | 0,51 | 0,78 | 0,60 |
| Cr | 59 | 72 | 36 | Gd | 2,44 | 3,07 | 2,52 |
| Mn | 87 | 90 | 86 | Tb | 0,29 | 0,42 | 0,31 |
| Co | 21 | 27 | 10 | Dy | 2,16 | 2,20 | 1,76 |
| NI | 49 | 69 | 23 | Ho | 0,34 | 0,44 | 0,36 |
| Cu | 32 | 37 | 21 | Er | 1,19 | 1,56 | 1,17 |
| Zn | 22 | 23 | 20 | Tm | 0,167 | 0,218 | 0,155 |
| Ge | 2,26 | 2,07 | 1,78 | Yb | 1,18 | 1,31 | 0,99 |
| As | 15,4 | 13,7 | 10,7 | Lu | 0,155 | 0,189 | 0,138 |
| Se | 1,43 | 1,32 | 1,10 | Hf | 1,56 | 1,89 | 1,14 |
| Rb | 15 | 19 | 22 | Ta | 0,49 | 0,40 | 0,27 |
| Sr | 51 | 53 | 50 | W | 0,73 | 0,72 | 0,48 |
| Y | 9,7 | 12,4 | 11,0 | Tl | 0,378 | 0,399 | 0,172 |
| Zr | 72 | 76 | 40 | Pb | 12,5 | 11,4 | 6,9 |
| Nb | 8,04 | 6,83 | 3,81 | Bi | 0,124 | 0,125 | 0,055 |
| Mo | 1,34 | 2,12 | 1,42 | Th | 3,65 | 3,25 | 2,84 |
| Cd | 0,232 | 0,249 | 0,157 | U | 1,98 | 3,10 | 1,99 |

ниже, чем в вышележащем гипновом торфе. Причиной этого, по-видимому, является вынос химических элементов грунтовыми водами из хорошо водопроницаемых песчаных отложений (перемытые пески), а также их бедный минералогический состав.

Высокое содержание элементов в низинных видах торфа можно объяснить несколькими причинами. Генезис и стратиграфия низинной части залежи свидетельствуют о том, что периферийная часть болота образовалось в пойме руч. Развилки на месте сильно обводненных гипновых топей (индекс влажности — 7,7–5,7). Мощность ее достигает 1,6 м, а формировалась она на протяжении длительного времени (периоды голоцена — А1, D3, РВ, ВО, АТ и большая часть SB). В этот временной интервал (более 7 тыс. лет) условия водно-минерального питания болота способствовали аккумуляции разнообразных химических элементов как за счет вертикальной фильтрации (в глубь по профилю торфяной залежи), так и с грунтовыми водами. Как отмечается в [17], «в низинных торфах геохимия поведения элементов складывается на фоне постоянного многовекового поступления элементов с почвенно-грунтовыми водами, что обеспечивает их высокую торфность» (с. 572).

В дальнейшем топи сменились евтрофными древесно-разнотравными и древесными фитоценозами, в верхнем ярусе которых господствовала береза, а травяно-кустарничковый и моховый ярусы отличались разнообразным видовым составом болотных растений. Привносимые химические элементы поглощались этими растениями, а при их отмирании откладывались богатые по своему минеральному составу низинные виды торфа, о чем свидетельствует их зольность (9,1–19,8 %). Активной аккумуляции химических элементов в нижних слоях торфяной залежи способствовала также восстановительная среда, в которой Fe, Co, Mn могут переходить в двухвалентное состояние [18], а

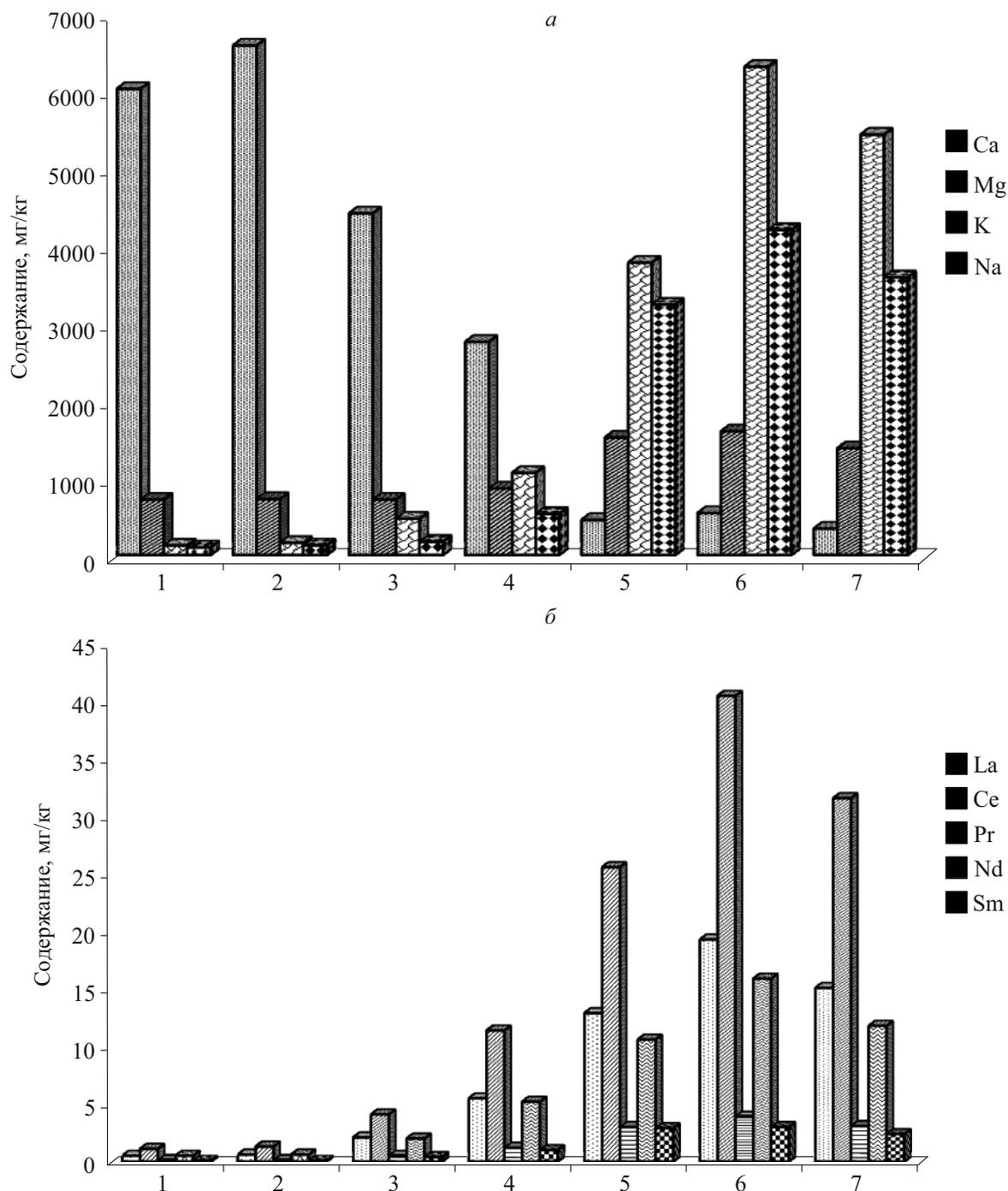


Рис. 2. Содержание макроэлементов (а) и лантаноидов (б) в низинных видах торфа, мг/кг.

Виды торфа: 1 — сфагновый, 2 — пушицевый, 3 — древесно-травяной, 4 — древесно-сфагновый, 5 — древесный, 6 — древесно-гипновый, 7 — гипновый.

также сочетание двух процессов — биогенеза и гидроморфогенеза, который приводит к накоплению Fe, S, P, Si, Al, Ca, Cu, Mn, Ni, Ba, V, Co и др. [19]. Важным фактором высокой концентрации макро- и микроэлементов в низинных торфах исследованного болота являлись также лесные пожары, о чем свидетельствуют угли и пожарные прослойки в торфяной залежи, имеющие возраст 5030, 5745, 7412 и 7790 л. н. В продуктах горения лесной подстилки и торфа происходит значительное увеличение концентраций K, Cr, Ti, Ge, Se, Zr [20, 21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые установлено среднее содержание валовых форм макро- и микроэлементов в торфяной залежи олиготрофного лесного болота, залегающего в северной части Сым-Дубчесского междуречья. Сравнительный анализ средних концентраций элементов в торфах с кларками литосферы показал, что в верховом и переходном типах они ниже кларка, а в низинном типе торфа концентрация 12 элементов значительно превышает кларк.

Экстремальные и средние значения концентраций элементов по типам верхового и переходного торфов различаются слабо. Низинный тип торфа характеризуется наиболее высоким содержанием большинства исследованных элементов.

Анализ среднего содержания макро- и микроэлементов в различных видах торфа, слагающих залежь, показал, что верховые и переходные виды торфа слабо различаются между собой по концентрациям элементов. Исключение составляет поверхностный слой залежи, представленный моховым очесом, в котором средние концентрации ряда щелочных, щелочноземельных, редкоземельных, а также тяжелых металлов превышают их значения в торфах моховой группы. Среди низинных видов торфа по степени накопления элементов можно построить следующий ряд: древесно-гипновый > древесный > древесно-травяной > гипновый > древесно-сфагновый > березовый > пушицевый > сфагновый. Высокая концентрация большинства химических элементов в низинных видах торфа обусловлена богатым водно-минеральным питанием болота на протяжении 7 тыс. лет, сочетанием биогенеза и гидроморфогенеза, разнообразным видовым составом высокотрофных болотных растений, в процессе отмирания которых отложились слои высокозольного торфа, а также лесными пожарами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Запывалов Н.П. Торфяные ресурсы Сибири — нетронутые богатства под ногами // ЭКО. — 2011. — № 8. — С. 104–112.
2. Пьявченко Н.И. К изучению болот Красноярского края // Заболоченные леса и болота Сибири. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — С. 5–32.
3. Карпенко Л.В. Реконструкция количественных показателей климата и сукцессий растительности на междуречье Сым-Дубчес в голоцене // География и природ. ресурсы. — 2006. — № 2. — С. 77–82.
4. Глебов Ф.З. Болота и заболоченные леса лесной зоны Енисейского левобережья. — М.: Наука, 1969. — 131 с.
5. Елизарьева М.Ф. Схема ботанико-географического районирования восточной окраины Западно-Сибирской равнины (в пределах таежной зоны) // Изв. Том. отд. Всесоюзн. ботан. о-ва. — 1964. — Т. 5. — С. 13–29.
6. Карпенко Л.В., Прокушкин А.С. Генезис и история послеледникового развития лесного болота в долине р. Дубчес // Сиб. лесн. журн. — 2018. — № 5. — С. 33–44.
7. Forel V., Monna F., Petit C., Bruguier O., Losno R., Fluck P., Begeot C., Richard H., Bichet V., Chateau C. Historical mining and smelting in the Vosges Mountains (France) recorded in two ombrotrophic peat bogs // Journ. Geochem. Explor. — 2010. — Vol. 107. — P. 9–20.
8. Allan M., Le Roux G., Vleeschouwer F., Bindler R., Blaauw M., Piotrowska N., Sikorski J., Fagel N. High-resolution reconstruction of atmospheric deposition of trace metals and metalloids since AD 1400 recorded by ombrotrophic peat cores in Hautes-Fagnes, Belgium // Environmental Pollution. — 2013. — Vol. 178. — P. 381–394.
9. ГОСТ 28245-89. ТОРФ. Методы определения ботанического состава и степени разложения. — М.: Изд-во стандартов, 1989. — 9 с.
10. ГОСТ 6801-86. ТОРФ. Метод определения зольности в залежи. — М.: Изд-во стандартов, 1986. — 4 с.
11. Steinhof A., Altenburg M., Machts H. Sample preparation at the Jena 14C laboratory // Radiocarbon. — 2017. — Vol. 59, Issue 3. — P. 815–830.
12. Елина Г.А., Юрковская Т.К. Методы определения палеогидрологического режима как основа объективизации причин сукцессий растительности болот // Бот. журн. — 1992. — Т. 77, № 7. — С. 120–124.
13. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. — 1962. — № 7. — С. 555–571.
14. Малахов С.Г., Махонько Э.П. Выброс токсичных металлов в атмосферу и их накопление в поверхностном слое земли // Успехи химии. — 1990. — Т. 59, вып. 11. — С. 1777–1798.
15. Московченко Д. В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природ. ресурсы. — 2006. — № 1. — С. 63–70.
16. Инишева Л.И., Пыбукова Т.Н. Эколого-геохимическая оценка торфов юга-востока Западно-Сибирской равнины // География и природ. ресурсы. — 1999. — № 1. — С. 45–51.
17. Богатырёв Л.Г., Ладонин Д.В., Семенов О.В. Микроэлементный состав некоторых почв и почвообразующих пород южной тайги Русской равнины // Почвоведение. — 2003. — № 5. — С. 568–576.

18. **Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Куценогий К.П., Онучин А.А., Переседов В.Ф.** Биогеохимия Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, V, Mo, Ta, W, U в низинном торфянике на междуречье Оби и Томи // Почвоведение. — 2002. — № 5. — С. 557–567.
19. **Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.Н.** Микроэлементы в почвах Советского Союза. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1959. — 66 с.
20. **Щербов Б.Л.** Лесные пожары как геохимическая угроза // Наука из первых рук. — 2011. — № 3 (39). — С. 120–127.
21. **Куценогий К.П., Чанкина О.В., Ковальская Г.А., Савченко Т.И., Иванова Г.А., Иванов А.В., Тарасов П.А.** Постпирогенные изменения элементного состава лесных горючих материалов и почв в сосновых лесах Средней Сибири // Сиб. экол. журн. — 2003 — № 6. — С. 735–742.

Поступила в редакцию 21.08.2019

После доработки 01.11.2019

Принята к публикации 25.09.2020