

ОСОБЕННОСТИ БОТАНИЧЕСКОГО И МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОЛИГОТРОФНЫХ ТОРФЯНИКОВ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

П.Г. Аминов, Т.Г. Ивченко, В.Н. Удачин, К.А. Филиппова

Приведено описание структуры растительного покрова и микроэлементного состава торфяной залежи двух верховых болот. Установлена корреляция между условиями торфонакопления и распределения микроэлементов в пределах природного и техногенного этапа развития болотных экосистем. Для халькофильных элементов важным является интервал 0–26 см, отражающий этап горнопромышленного техногенеза с накоплением четырех типоморфных элементов – Cu, Zn, Pb и Cd.

Ключевые слова: олиготрофный торфяник, ботанический состав, микроэлементы, фактор обогащения.

Введение. Геоботанические исследования верховых болот имеют широкое распространение [1–4]. Верховые болота, благодаря особому типу формирования, являются хорошими архивами, характеризующими атмосферную миграцию элементов прошлых лет. Микроэлементы, поступающие с атмосферными выпадениями (осадки и пыль) накапливаются сфагновым мхом благодаря высокой сорбционной емкости и биогеохимическим процессам. Консервация в процессе торфообразования таких элементов как Pb, Cd, Sb, As, Hg, позволяет рассматривать отдельные слои торфяников как летопись геохимических обстановок прошлого [5–12].

В данной работе было проведено геоботаническое описание и изучен элементный состав торфов верховых болот «Багульникового» и «Травниковского», расположенных в Челябинской области на Южном Урале (рис. 1).

Исследованные нами олиготрофные болотные массивы «Багульниковое» в Ильменском заповеднике и «Травниковское» в Травниковском бору, согласно ботанико-географической классификации Т.К. Юрковской [13] относятся к подтипу – сосновых кустарничково-сфагновых с поясным распределением сообществ восточноевропейских болот, к типу – сосновых пушицево-кустарничково-сфагновых с поясным распределением сообществ верховых болот, и к группе типов – восточноевропейских сфагновых верховых болот.

Верхнюю часть торфяного разреза опробовали из шурфа, глубиной 1,5 м. Объем пробы составлял около 1,5 кг, чтобы получить достаточное количество материала для дальнейших анализов (поскольку влажность

торфа около 70 %). Интервал опробования 5 см. Далее проводили ручное бурение заборным буром с добавочными штангами (длина каждой штанги 1,5 м), глубина одной проходки 50 см (с последующим делением колонки на пятисантиметровые интервалы). Таким образом, опробована вся торфяная залежь до подстилающих серых глин (4,0 м на болоте «Травниковское», и 7,7 м на болоте «Багульниковое»). Всего отобрано 246 проб торфа.

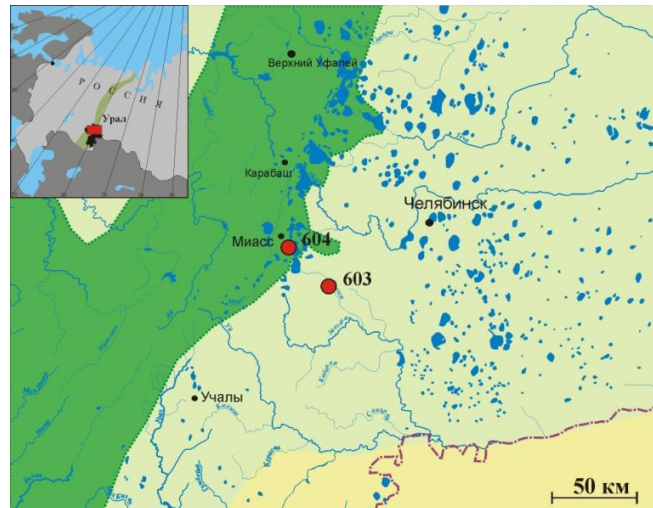


Рис. 1. Схема географического расположения объектов исследования

Химические анализы выполняли после высушивания торфа при температуре 35–40 °С. После разложения растертых проб смесью кислот (HNO_3 , HCl и HF) и перекиси водорода H_2O_2 в микроволновой системе «Speed Wave» (Berghoff), элементный состав определили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Измерения производились на масс-спектрометре Agilent 7700х. Для выявления вклада литогенного или иного (антропогенного или биогенного) источника формирования микроэлементного состава был рассчитан коэффициент обогащения (EF) относительно среднего состава континентальной земной коры по формуле:

$$EF = (C/Sc)_{\text{проба}} / (C/Sc)_{\text{з.к.}}$$

где C и Sc содержание химического элемента и скандия в пробе торфа и в верхней части континентальной земной коры [5, 14].

Результаты и их обсуждение. Изученные болота относятся к группе Восточноевропейских сфагновых верховых болот. Эта группа, согласно [13], объединяет растительность типичных верховых болот с господством *Sphagnum magellanicum*. Среди сфагновых болот верховые образуют наиболее специфическую, обособленную группу. В.В. Мазинг [15] отмечает, что верховое болото – автономное, в значительной степени саморазви-

вающееся образование. Из внешних факторов на него влияют только радиация и климат, на изменения которых верховые массивы чутко реагируют. Благодаря этому влиянию среди сфагновых верховых болот выделяют обособленные региональные группы, а внутри них типы и варианты. Эти различия отражаются во флористическом составе и структуре растительного покрова болот.

Тип – *Сосновые пушицево-кустарничково-сфагновые с поясным распределением сообществ верховые болота.*

Болота этого типа распространены в южной тайге и в полосе хвойно-широколиственных лесов, но встречаются также в области широколиственных лесов и полосе лесостепи. Поверхность их слабовыпуклая [16], микрорельеф волнистый или кочковатый. В их питании решающее значение принадлежит атмосферным осадкам. Растительный покров часто имеет поясное строение и, по мнению Т.К. Юрковской [13], нуждается в охране, особенно на южном пределе их ареала.

Подтип – *Сосновые кустарничково-сфагновые с поясным распределением сообществ восточноевропейские болота.*

Большую часть территории исследованных нами болотных массивов занимают олиготрофные фитоценозы сосново-кустарничково-сфагновой ассоциации (*Pinus sylvestris* – *Ledum palustre* + *Chamaedaphne calyculata* – *Sphagnum angustifolium* + *S. magellanicum*), представленные тремя субассоциациями: 1) *Pinus sylvestris* f. *uliginosa*, сообщества которой занимают центральную часть массивов; 2) *Typicum*, фитоценозы которой окружают первые и 3) *Pleurozium schreberi*.

Внешний пояс болот этого типа образован евтрофными сообществами березово-кочкарноосокой ассоциации (*Betula pubescens*-*Carex juncella*).

Характеристика сообществ

1. *Сосново-кустарничково-сфагновая ассоциация (Pinus sylvestris – Ledum palustr + Chamaedaphne calyculata – Sphagnum angustifolium + S. magellanicum)*

Характерен кочковато-равнинный микрорельеф. Кочки образованы приствольными повышениями. Перепады высот составляют 10–20 (30) см. Торфяная залежь достигает 8,1 м. Уровень болотных вод от –30 до –50 см ниже поверхности микропонижений, рН = 3.3–3.5. Сомкнутость крон древесного яруса составляет 40–60 %, высота 10–12 (15) м, диаметр 6–14 (16) см. Преобладает *Pinus sylvestris*, встречается *Betula pubescens*. Кустарниковый ярус отсутствует. Проективное покрытие травяно-кустарничково яруса 50–70 %, высота кустарничков от 10–20 см (*Vaccinium vitis-idaea*, редко *V. myrtillus*), до 40–60 см (*Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, редко *Vaccinium uliginosum*). В описываемых фитоценозах встречаются два вида клюквы (*Oxycoccus palustris*, *Ox. microcarpus*), *Eriophorum vaginatum* имеет небольшое распространение, проективное покрытие до 30 %. В моховом ярусе (п/п = 70–80 %) содоми-

нируют сфагновые мхи *Sphagnum angustifolium* и *S. magellanicum*. Обильны: *Sphagnum capillifolium*, *S. fuscum*, *Pleurozium schreberi*. Отмечено небольшое присутствие лишайников: *Cladonia coniocraea*, *Cladina rangiferina* и *C. stellaris*.

В рамках данной ассоциации было выделено три субассоциации:

1) *Typicum*, характеристики растительного покрова совпадают с общими характеристиками ассоциации;

2) *Pinus sylvestris* f. *uliginosa* характеризуется разреженным древесным ярусом (сомкнутость крон 0,25–0,35) состоящим из *Pinus sylvestris* f. *uliginosa*, в моховом покрове в роли содоминанта с *Sphagnum angustifolium* и *S. magellanicum* выступает *Sphagnum fuscum*. *Oxycoccus microcarpus* преобладает над *Ox. palustris*.

3) *Pleurozium schreberi* объединяет фитоценозы, эдификаторную роль в которых играет сосна лесного облика и *Pleurozium schreberi*. Сообщества этой фации являются отличительной чертой растительного покрова олиготрофных болот данного типа. Говоря об их происхождении, Ю.Д. Цинзерлинг [17] и Ю.З. Кулагин [18] считают их наиболее зрелой стадией развития ярмов, вследствие самоосушения.

2. Березово-кочкарноосоковая ассоциация (*Betula pubescens* – *Carex juncella*)

Развитие сообществ данной ассоциации происходит в условиях хорошего дренажа на богатой органическими веществами торфяной залежи. Ее мощность составляет от 0,5 до 4,0 м, рН болотных вод – 5,6–5,8. Характерен кочковатый микрорельеф. Кочки образованы приствольными повышениями и плотнодерновинными осоками. Высота от 20 до 50 см, диаметр осоковых кочек достигает 30 см, приствольных повышений – 2 м. Уровень болотных вод от -10 до +3 (+5) см. Сомкнутость крон деревьев составляет 0,6–0,8, h = 12–16 м, d = (8) 12–18 (22) см. Доминирует *Betula pubescens*, встречается *Pinus sylvestris*. Кустарниковый ярус занимает не более 5 % площади фитоценозов, представлен *Padus avium*, *Ribes nigrum*, различными видами ив. В травяном ярусе (п/п = 60–80 %, h = 30–80 (до 150 см) широко представлено болотное разнотравье. Доминирует *Carex juncella*. Моховой ярус (п/п = 20–30 %) составляют зеленые и сфагновые мхи, в основном, такие как *Calliergon giganteum*, *C. cordifolium*, *Sphagnum fimbriatum*, *S. squarrosum* и др.

Несмотря на общую структуру растительного покрова изученные нами болотные массивы имеют и свои особенности.

Болото «Багульниковое» (рис. 2б) расположено на территории Ильменского заповедника в межувальном понижении. Протяженность болота с запада на восток – около 380 м, с севера на юг в восточной (меньшей) части – 105 м, в западной (большей) – 216 м. Растительному покрову свойственно поясное строение, рассмотренное нами ранее. Особенностью является наличие открытого пушицево-сфагнового (*Eriophorum vaginatum*-*Sphagnum*

fallax) участка, окруженного кустарничково-фускум сфагновыми (*Ledum palustre* + *Chamaedaphne calyculata* – *Sphagnum fuscum*) фитоценозами. Участок имеет форму овала размером 40×80 м.

Болото «Травниковское» (рис. 2а) примыкает южной стороной к Травниковскому островному бору на выходах гранитов, северной граничит с участками лесостепной растительности. Такое расположение болотного массива определяет особенности его структуры и сходство с западносибирскими лесостепными рядами [2]. Так перед относительно не широкой полосой березово-кочкарноосоковых сообществ расположены тростниковые и осоково-тростниковые сообщества (займища), типичные для западносибирских лесостепных ландшафтов. С северной части олиготрофные сосново-кустарничково-сфагновые сообщества окаймлены березово-сосново-кустарничково-пушицево-сфагновыми (*Betula pubescens* + *Pinus sylvestris* – *Ledum palustre* + *Chamaedaphne calyculata* + *Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum angustifolium*) фитоценозами, что также характерно для олиготрофных болот лесостепи Западной Сибири. Протяженность болота с северо-запада на юго-восток – около 1,5 км, с северо-востока на юго-запад – 900 м.

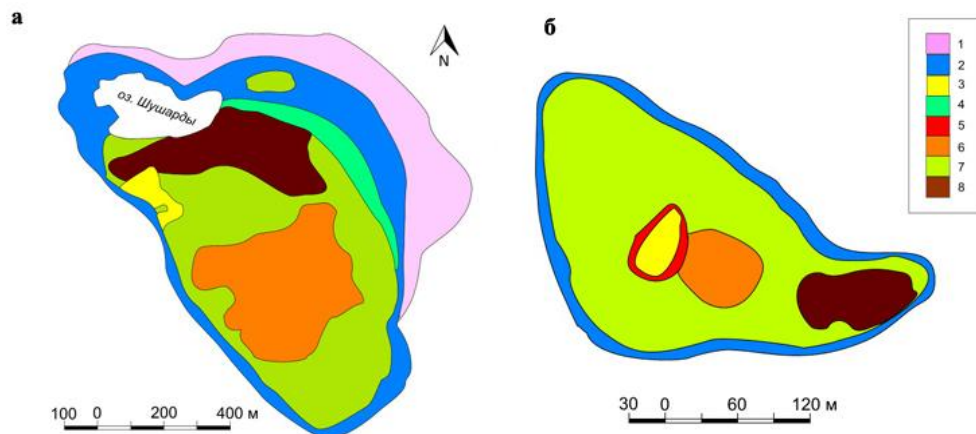


Рис. 2. План-схема структуры современного растительного покрова болот «Травниковское» (а) и «Багульниковое» (б). Растительные сообщества: 1 – тростниковые (*Phragmites australis*); 2 – березово-кочкарноосоковые (*Betula pubescens* – *Carex juncella*); 3 – пушицево-сфагновые (*Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum fallax*); 4 – березово-сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые (*Betula pubescens* + *Pinus sylvestris* – *Ledum palustre* + *Chamaedaphne calyculata* + *Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum angustifolium*); 5 – кустарничково-сфагновые (*Ledum palustre* + *Chamaedaphne calyculata* – *Sphagnum fuscum*); 6 – сосново-кустарничково-сфагновые (*Pinus sylvestris* f. *Uliginosa* – *Ledum palustre* + *Chamaedaphne calyculata* – *Sphagnum fuscum* + *S. Angustifolium* + *S. magellanicum*); 7 – сосново-кустарничково-сфагновые (*Pinus sylvestris* – *Ledum palustre* + *Chamaedaphne calyculata* – *Sphagnum angustifolium* + *S. magellanicum*); 8 – сосново-кустарничково-плеуроэиевые (*Pinus sylvestris* – *Ledum palustre* + *Chamaedaphne calyculata* – *Pleurozium schreberi*)

Отбор образцов торфа на геохимию и ботанический состав производился в центральных частях массивов в сосново-кустарничково-сфагновых сообществах, отнесенных к субассоциации *Pinus sylvestris* f. *uliginosa*, где наблюдалась наиболее мощная торфяная залежь. В обоих отобранных колонках наблюдается схожие этапы развития. Болотообразовательный процесс начинался с евтрофных тростниковых с гипновыми мхами сообществ преимущественно в лесостепной зоне (болото «Травниковское»), либо с обводненных лесных участков в горно-таежном поясе (болото «Багульниковое»). Мощность евтрофных торфов не превышает 1,5 м, мезотрофных – не более 0,5 м. Преобладают олиготрофные торфа, среди которых в зоне лесостепи в основном диагностируется фускум-торф, а в горно-таежном поясе – чередование пушицево-сфагнового торфа с магелланикум- и фускум-торфами.

Обычно средняя скорость накопления торфа в верхней части разреза (определяют по изотопу ^{210}Pb) в последние 100 лет в среднем составляет 0,17 см/год, то есть возраст торфа на глубине 20 см составляет около 100 лет [7].

Значения фактора обогащения большинства элементов не превышает 10 (рис. 3), что свидетельствует о преимущественно литогенном источнике. Живой сфагновый мох и верхний слой молодого торфа на исследованных болотах значительно обогащен Cd, Pb, Bi, As, As ($EF > 100$), что может быть связано как высокой способностью к биоаккумуляции, так и со значительным поступлением этих тяжелых металлов из атмосферы.

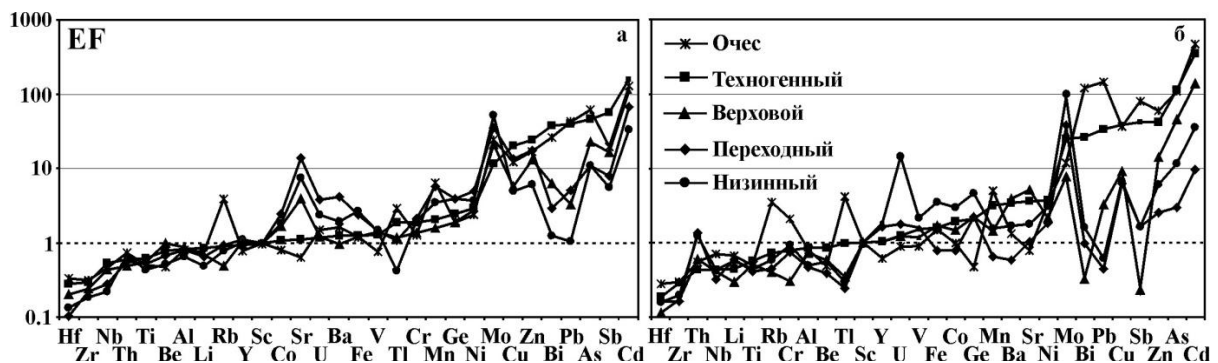


Рис. 3. Распределение величин фактора обогащения в разных генетических типах торфа болот «Травниковское» (а) и «Багульниковое» (б)

Перенос техногенной компоненты подтверждается не только характерным спектром элементов, свойственным для аэральных выпадений на исследуемой территории, но и их аномальными концентрациями, фиксируемыми в «техногенных» слоях. Местоположение таких слоев в колонке торфов маркируется высокими концентрациями халькофильных элементов – EF от 50 до 100 (Pb, Cu, Sb, Zn, As, Bi) и хорошо коррелируется с возраст-

том отложений, соответствующих временному периоду начала работы крупнейших медеплавильных предприятий Урала. Необходимо отметить, что подобное обогащение тяжелыми металлами верхних слоев болотных и озерных отложений, датируемых XIX–XX веками, отмечено в большинстве пунктов Северной Европы и Сибири [5, 6, 7, 19, 20], связывают с дальним атмосферным переносом этих элементов-токсикантов от антропогенных и природных источников.

Выводы. Получена подробная структура современного растительного покрова болот «Травниковское» и «Багульниковое». Микроэлементный состав стратифицированных колонок торфяных отложений определяется вкладом литогенного и биогенного источников. Для отдельных элементов выявлено повышение фактора обогащения с начала активного развития промышленности на Южном Урале (начало XX века). Микроэлементный состав торфа верховых болот на Южном Урале может нести интегральную характеристику переноса различного генезиса: природного литогенного, аэрального техногенного (ближайшие горнопромышленные предприятия) и дальнего атмосферного переноса.

Исследования выполнены в рамках выполнения Госзадания, проекта фундаментальных научных исследований УрО РАН № 18-5-5-43 и в рамках плановой темы № АААА-А18-118031690042-9.

Библиографический список

1. Наумов, А.В. Верховые болота лесостепной зоны, их состояние и мониторинг / А.В. Наумов, Н.П. Косых, Е.К. Паршина, С.Ю. Артымук // Сибирский экологический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 251–259.
2. Ивченко, Т.Г. Выпуклые верховые суббореальные болота лесостепной зоны Западной Сибири на границе ареала (Челябинская область) / Т.Г. Ивченко // Ботанический журнал. – 2013. – Т. 98. – № 7. – С. 885–902.
3. Кузнецов, О.Л. Динамика растительности верховых болот / О.Л. Кузнецов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – № 1–5. – С. 1288–1291.
4. Напреенко, М.Г. Флора и растительность верховых болот Калининградской области: дис. ... канд. биол. наук. / М.Г. Напреенко. – Калининград, 2002. – 291 с.
5. Поступление микроэлементов из атмосферы, зарегистрированное в природном архиве (на примере Иласского верхового болота, водосбор Белого моря) / В.П. Шевченко, О.Л. Кузнецов, Н.В. Политова и др. // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 465. – № 5. – С. 587–592.
6. Comparison of atmospheric deposition of copper, nickel, cobalt, zinc, and cadmium recorded by Finnish peat cores with monitoring data and emission records / N. Rausch, T. Nieminen, L. Ukonmaanaho and all. // Environment Science Technology. – 2005. – V. 39. – Pp. 5989–5998.

7. Anthropogenic contributions to atmospheric Hg, Pb, and As accumulation recorded by peat cores from southern Greenland and Denmark dated using the ^{14}C «bomb pulse curve» / W. Shotyk, M. E. Goodsite, F. Roos-Barraclough and all. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2003. – V. 67. – Pp. 3991–4011.

8. Максимов, А.И. Макро- и микроэлементный состав торфяных залежей Заонежского полуострова (на примере болот Замошье и Боярщина) / А.И. Максимов // Труды КНЦ РАН. Серия «Биогеография Карелии» / Острова Кижского архипелага. Биогеографическая характеристика. – Петрозаводск, 1999. – Вып. 1. – С. 55–62.

9. Максимов, А.И. Геохимическая характеристика торфяных залежей / А.И. Максимов, Г.Ф. Егорова, В.А. Степаненкова, Т.А. Ширяева // Методы исследований болотных экосистем таежной зоны. – Л.: Наука, 1991. – С. 97–110.

10. Лисицын, А.П. Процессы в водосборе Белого моря: подготовка, транспортировка и отложение осадочного материала, потоки вещества, концепция «живого водосбора» / А.П. Лисицын // Система Белого моря / Природная среда водосбора Белого моря. – М.: Научный мир, 2010. – Т. I. – С. 353–445.

11. Эоловый материал в природных архивах / В.П. Шевченко, Р.А. Алиев, В.А. Бобров и др. // Система Белого моря / Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. – М.: Научный мир, 2012. – Т. II. – С. 70–107.

12. Многоэлементный состав и радиоактивность отложения Иласского болота (Архангельская область) / В.П. Шевченко, Р.А. Алиев, В.П. Денисенков и др. // Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия «Прикладная геоэкология». – 2008. – Вып. 75. – С. 67–84.

13. Юрковская, Т.К. География и картография растительности болот Европейской России и сопредельных территорий / Т.К. Юрковская. – СПб., 1992. – 256 с.

14. Rudnick, R.L. Composition of the continental crust / R.L. Rudnick, S. Gao // *Treatise on Geochemistry / The crust*. – Elsevier, 2003. – V. 3. – Pp. 1–64.

15. Мазинг, В.В. Развитие географических комплексов верховых болот Эстонии / В.В. Мазинг // Ученые записки Латвийского университета. – 1960. – Т. 37. – С. 377–386.

16. Кац, Н.Я. Болота земного шара / Н.Я. Кац. – М., 1971. – 294 с.

17. Цинзерлинг, Ю.Д. Растительность болот / Ю.Д. Цинзерлинг // Растительность СССР. – М.; Л., 1938. – Т. 1. – С. 355–428.

18. Кулагин, Ю.З. Типы болотных лесов Ильменского заповедника и их динамика / Ю.З. Кулагин // Материалы по изучению флоры и растительности Урала. – Свердловск, 1962. – С. 66–73.

19. Удачин, В.Н. Геохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала / В.Н. Удачин, П.Г. Аминов, К.А. Филиппова. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. – 252 с.

20. Химический состав атмосферных осадков Южного Урала / В.Н. Удачин, М. Джейджи, П.Г. Аминов и др. // Естественные и технические науки. – 2010. – № 6. – С. 304–311.

[К содержанию](#)