

УДК 550.42:577.4

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ЭВТРОФНОГО ОБСКОГО БОЛОТА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

© 2020 г. О. Г. Савичев^{1,*}, М. А. Рудмин¹, А. К. Мазуров¹, Н. Г. Наливайко¹, академик РАН В. И. Сергиенко², член-корреспондент РАН И. П. Семилетов^{1,3}

Поступило 17.02.2020 г.

После доработки 18.02.2020 г.

Принято к публикации 20.02.2020 г.

Изучены химический состав и минеральные включения в торфах и подстилающих грунтах эвтрофного Обского болота (Западная Сибирь, Томская область). Основная закономерность изменения минерало-геохимических условий по глубине заключается в преобладании в верхней части торфяной залежи гидроксидов, в нижней — сульфидов. В нижней части торфяной залежи формируется восстановительный геохимический барьер, с функционированием которого связываются повышенные концентрации U и Hg. Явно выраженное влияние сбросов сточных вод связано с увеличением в кислотных вытяжках из торфов содержаний Na и дополнительной аккумуляцией в болотной среде смеси взвешенных, коллоидных и растворенных форм ряда металлов.

Ключевые слова: минерало-геохимические условия, антропогенное влияние, Обское болото, Западная Сибирь

DOI: 10.31857/S2686739720050217

Химический состав торфов является важной характеристикой, в значительной мере определяющей направления их использования в энергетике, сельском хозяйстве и химической промышленности. Большое значение имеет и минеральный состав, особенно при использовании торфов в энергетике. Все это определяет постоянный интерес к минерало-геохимическим исследованиям болотных экосистем, в том числе в Западной Сибири — одном из самых заболоченных регионов мира. Цель исследования — выявление изменений минерало-геохимических условий функционирования эвтрофного долинного болота в водосборе р. Обь в условиях многолетнего сброса сточных вод.

С учетом этого выбран соответствующий объект исследования — Обское болото, в пределах которого есть участки с разной степенью и характером антропогенной нагрузки. Обское болото расположено на территории Томской области в

левобережной части долины р. Оби от с. Кожевниково на юге до с. Иштан на севере в виде полосы шириной от 1.5 до 7.0 км и длиной 104 км. Торфяная залежь низинного типа, со средней мощностью 3.2 м при максимуме до 6 м. Достаточно подробная характеристика геоботанических условий и химического состава болотных вод приведена в [1, 2]. Участок с явно выраженным антропогенным влиянием расположен у с. Мельниково — административного центра Шегарского района Томской области, где в течение ряда десятилетий осуществляется сброс коммунально-бытовых сточных вод. Географические координаты пункта наблюдений (I) на этом участке: 56°.5520 с.ш.; 84°.1033 в.д.; пункт расположен в 0.75 м от выпуска стоков. Пункт для изучения условно фонового состояния (II) размещен южнее сел Мельниково и Нащекково, примерно в 6.3 км выше по уклону долины р. Оби в точке с географическими координатами: 56°.5154 с.ш.; 84°.0263 в.д. Глубина торфяной скважины в точке II (фоновой) — 4 м. Опробование проводилось поинтервально через 0.25 м, включая отбор пробы органо-минеральных отложений (ОМО) в интервале 4.00–4.25 м и минерального грунта (суглинка) по интервалам: 4.25–4.50; 4.50–4.75; 4.75–5.00 м. В точке I отбор проб торфов проводился только до глубины 3 м. Методика исследования изложена в [3, 4].

¹ Томский политехнический университет, Томск, Россия

² Президиум Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

³ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

*E-mail: osavichev@mail.ru

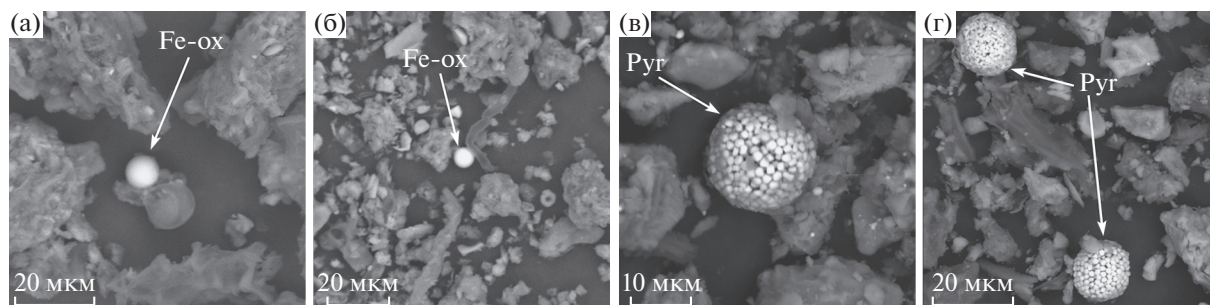


Рис. 1. СЭМ-изображения аутигенных минеральных фаз: (а, б) окислы и гидроокислы железа (Fe-ox) в виде сферул в верхних слоях; (в, г) фрамбоиды пирита (Pyr) в нижних слоях торфяной залежи.

Для обоих участков Обского болота с использованием методов сканирующей электронной микроскопии и рентгенодифракционного анализа было выявлено около 20 минеральных фаз в составе торфа и базальных отложений. Все установленные минеральные фазы разделены по происхождению на детритовые (привнесенные) и аутигенные (новообразованные или *in situ*). Среди детритовых отмечаются следующие: кварц, полевые шпаты, слюды, ильменит, рутил, магнетит, циркон, монацит, ксенотим, чералит, апатит, висмутин. Аутигенные минералы (рис. 1) представлены окислами и гидроокислами железа, пиритом, сидеритом, галенитом, баритом, акантитом, самородным серебром и рядом других минералов. Подобные минеральные фазы были обнаружены в торфяной залежи Васюганского болота [3–5]. Распределение минеральных фаз на частицах органики в разрезе торфяной залежи в точке II имеет неравномерный характер. В верхней части торфяной залежи (0.00–2.75 м) из аутигенных минералов преобладают окислы и гидроокислы железа (рис. 1а, 1б) в виде сферических форм (микросфероидов) размером от 0.5 до 10 мкм. Среди детритовых минералов в верхних слоях разреза преобладают кварц, полевые шпаты, слюды, ильменит, магнетит, циркон, рутил. В нижней части залежи (2.75–4.50 м) заметно увеличивается содержание фрамбоидов пирита (рис. 1в, 1г), представляющих собой агрегированное скопление микрокристаллитов пирита размером до 0.5–1.2 мкм. В подстилающих болото песчаных суглинках (на глубине 4.5–5.0 м) при том же наборе детритовых минералов относительная доля пирита постепенно снижается. Состав минеральных включений в торфе на загрязненном участке Обского болота близок к составу на фонеовом участке за исключением пониженного количества фрамбоидального пирита и заметно большего присутствия в точке I магнетита (интервалы 0.00–0.50; 1.50–1.75 м), сидерита и барита (1.50–1.75 м), а также наличия таких редких обломочных минералов, как чералит и висмутин.

В кислотных вытяжках из минерального грунта на фонеовом участке Обского болота наблюдаются более значительные концентрации Li, Be, Mg, Al, Si, K, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Y, Zr, Pd, Ag, Cd, In, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Tl, Pb, Bi, Th, а в вытяжках из торфов – Mo, Rh, Sb, I, W, Ir. Кроме того, в торфах заметно больше дисперсия концентраций Mo, Rh, Sn, Sb, I, Ba, W, Re, Ir, U. Содержание U весьма резко увеличивается в торфяной залежи в диапазоне глубин 2.25–3.25 м, то есть в слое, где в составе минеральных форм железа происходит смена гидроксидной специализации на сульфидную.

Сравнение химического состава кислотных вытяжек из торфов в пунктах I и II показало, что на загрязненном участке болота больше среднее содержание Li, Be, Na, Mg, Al, Si, K, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Rb, Y, Zr, Nb, Pd, Ag, Cd, In, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Tl, Pb, Bi, Th, причем максимальные концентрации указанных элементов (за исключением Na, Ti, Fe, Rb, Y, Nb, Ba) на фонеовом участке приурочены к подстилающим минеральным грунтам. Более высокие содержания этих элементов в торфах загрязненного участка могут быть связаны не со сбросом сточных вод, а более высокой запыленностью территории Обского болота у с. Мельниково. Из прочих элементов наиболее очевидна связь со стоками в основном для Na, для которого отмечены и характерные изменения по глубине торфяной залежи: 1) диапазон глубин 0–1 м – среднее содержание на фонеовом участке 101 мг/кг, на загрязненном 989 мг/кг; 2) глубины 1–2 м – на фонеовом участке 82 мг/кг, на загрязненном 331 мг/кг; 3) глубины 2–3 м – на фонеовом участке 83 мг/кг, на загрязненном 169 мг/кг. Натрий обычно присутствует в сточных водах в повышенных концентрациях, в том числе и у с. Мельниково [2]. Судя по достаточно резкому снижению на загрязненном участке концентраций Na по глубине торфяной залежи, максимальное влияние сброса сточных вод проявляется в верхнем метровом слое, достаточно заметное – до 2 м.

Наибольшие значения средних концентраций ряда элементов (Ca, Mn, As, Sr, Mo, Rh, W, Re) или их дисперсий (B, S, Ca, Mn, Sr, Mo, Rh, W, Re, Hg, U) отмечены не на загрязненном, а на фоновом участке. Корреляционный анализ позволил выявить статистически значимые связи концентраций U с содержанием пирита (коэффициент корреляции 0.64), а концентраций C_{ac} величиной рН водных вытяжек (0.59). Это позволяет предположить, что повышенные концентрации некоторых элементов (включая Hg и U) в отдельных слоях торфяной залежи могут быть связаны не только с действием каких-либо сосредоточенных источников (например, выпуском сточных вод или выщелачиванием подстилающих грунтов), но и с функционированием геохимических барьеров. В частности, достаточно резкое увеличение концентраций Hg (до 0,4 мг/кг) на фоновом участке приурочено к слою 1.75–2.00 м, а U (до 10.9–12.5 мг/кг) – к слою 2.50–3.25 м и связывается, согласно [6], с восстановительным барьером и, в свою очередь, деятельностью сульфатвосстанавливающих бактерий. Среднее содержание последних в слое 0.00–1.75 м составляет 20 млн. кл./мл, а в слое 2.75–4.00 м – 37.6 млн. кл./мл, причем в слое 2.50–3.25 м – 60.0 млн. кл./мл.

Корреляционный анализ во многих случаях не позволил выявить статистически значимые связи между минералогическими, геохимическими и микробиологическими показателями, что объясняется противоположной направленностью и необратимостью (или слабой обратимостью) ряда процессов в торфяном болоте. В частности, накопление ртути, видимо, приводит к резкому снижению численности сульфатвосстанавливающих бактерий, что нелинейно сказывается на содержании U. Нельзя не отметить и возможное влияние состава и концентраций органических кислот. Согласно [7], в верхней части торфяной залежи вероятно обнаружение максимальных молекулярных масс гуминовых кислот (ГК), которые состоят в основном из разветвленных алифатических цепочек с преобладанием аминокислотных, спиртовых, алкильных и углеводных фрагментов. Соответственно ниже может наблюдаться более высокое содержание низкомолекулярной фракции ГК. С учетом того, что большинство металлов образует с гуминовыми кислотами малорастворимые соединения [6], это не может не сказаться на изменении их концентраций в кислотных вытяжках по глубине торфяной залежи. Выполненное исследование может быть полезным для уточнения механизма транспорта и трансформации ГК в стоке р. Обь от верхнего течения до Обской губы [8] в контексте оценки потенциального вклада Обского болота в интегрированный ГК сигнал.

Таким образом, получены следующие основные результаты: 1) основная закономерность из-

менения минералого-геохимических условий по глубине заключается в преобладании в верхней части торфяной залежи гидроксидных минеральных форм, в нижней – сульфидных; 2) в нижней части эвтрофного Обского болота формируется восстановительный геохимический барьер, с функционированием которого связываются повышенные концентрации U и Hg; 3) явно выраженное влияние сбросов сточных вод заключается в увеличении в кислотных вытяжках из торфов содержания Na; 4) антропогенное воздействие проявляется также в изменении состава образующихся в торфах аутигенных минералов (например, в формировании сидерита и барита) и дополнительной аккумуляции в болотной среде смеси взвешенных, коллоидных и растворенных форм некоторых металлов, которые в естественных условиях с большей вероятностью образовали бы минеральные формы; 5) косвенное, но вполне заметное антропогенное влияние может быть связано более высокой пылевой нагрузкой на болото вблизи населенных пунктов.

Результаты выполненного исследования минералого-геохимических условий в Обском болоте, интегрированные с результатами исследований Васюганских болот [3–5], могут быть полезны для уточнения экологической роли болот в формировании геохимического сигнала стока р. Обь в условиях современной антропогенной нагрузки, а также в интерпретации палеоусловий на “сухом” шельфе Карского моря до начала голоценовой трансгрессии.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при участии Международной научно-образовательной лаборатории углерода арктических морей, финансовой поддержке грантов РФФИ № 18–55–80015, 18–05–00302.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Schipper A.M., Zeefat R., Tanneberger F., van Zuidam J.P., Hahne W., Schep S.A., Loos S., Bleuten W., Joosten H., Lapshina E.D., Wassen M.J.* // Plant Ecology. 2007. V. 193. P. 131–145.
2. *Савичев О.Г., Гусева Н.В., Куприянов Е.А., Скороходова А.А., Ахмед-Оглы К.В.* // Известия Томского политехнического университета. 2013 Т. 323. № 1. С. 168–172.
3. *Savichev O.G., Mazurov A.K., Rudmin M.A., Shakhova N.E., Sergienko V.I., Semiletov I.P.* // Doklady Earth Sciences. 2019. V. 486. P. 568–570.
4. *Savichev O., Soldatova E., Rudmin M., Mazurov A.* // Applied Geochemistry. 2020. V. 113. 104519. P. 1–11.
5. *Rudmin M., Ruban A., Savichev O., Mazurov A., Dauletova A., Savinova O.* // Minerals. 2018. V. 8. № 500. P. 1–13.
6. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.* Геохимия подземных вод. М.: Наука, 2004. 677 с.

7. Василевич Р.С., Вежов К.С., Лодыгин Е.Д. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 8. С. 146–154.
8. Perminova I.V., Shirshin E.A., Zhrebker A., Pipko I.I., Pugach S.P., Dudarev O.V., Nikolaev E.N., Grigoryev A.S., Shakhova N., Semiletov I.P. // Scientific Reports. 2019. V. 9. № 1. P. 19487.

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF PEAT DEPOSIT OF EUTROPHIC THE OBSKOYE FEN IN ANTHROPOGENOUS CONDITIONS (THE WESTERN SIBERIA)

**O. G. Savichev^{a,#}, M. A. Rudmin^a, A. K. Mazurov^a, N. G. Nalivaiko^a,
Academician of the RAS V. I. Sergienko^b, and Corresponding Member of the RAS I. P. Semiletov^{a,c}**

^a Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russian Federation

^b Presidium of Far East branch of the Russian Academy of sciences, Vladivostok, Russian Federation

^c Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of sciences, Vladivostok, Russian Federation

[#]E-mail: osavichev@mail.ru

The chemical composition and mineral inclusions in peats and mineral grounds of the Obskoye fen (Western Siberia, Tomsk area) on a background site and a site of long-term sewage dump is investigated. The basic law of change of mineral and geochemical conditions on depth consists in prevalence of hydroxides in the top part of a peat deposit. In the bottom part of a peat deposit sulfides prevail. The regenerative geochemical barrier is formed in the bottom part of a peat deposit. Increased concentration of U and Hg are connected to functioning this barrier. Obviously expressed influence of sewage dumps is connected to increase of Na concentrations in acid extracts from peats. Very strong increase at depth up to 1 m (more than in 9 times is observed in comparison with a background site) and substantial growth on depth up to 2 m (in 4 times in comparison with a background site). Anthropogenous influence also is shown in change of structure formed in peats autogenic minerals and additional accumulation in the marsh environment of a mix suspended, colloidal and the dissolved forms of some metals which in natural conditions with the greater probability would form mineral forms.

Keywords: mineralogical and geochemical conditions, anthropogenous influence, the Obskoye fen, Western Siberia