

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 911.52

Д. В. МОСКОВЧЕНКО

### БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*Выявлены основные особенности состава торфа верховых болот Западной Сибири — высокие показатели содержания железа, марганца, хрома, малые концентрации кадмия. Несколько выше средних значений концентрация меди. Показано, что современный уровень атмосферных выпадений металлов невелик, их содержание в сфагновых мхах соответствует уровню на фоновых территориях. Установлено, что увеличение атмосферных выпадений началось на территории Западной Сибири позже, чем на Восточно-Европейской равнине, и затрагивает главным образом сельскохозяйственные районы.*

*Key features of peat composition for the high bogs in Western Siberia have been revealed: high iron, manganese, and chromium content figures, and low cadmium concentrations. Copper concentration is slightly below. It is shown that the present-day level of atmospheric fallout of metals is low, and their content in sphagnum mosses matches the level for background territories. It is established that the increase in atmospheric fallout over the territory of Western Siberia began later when compared with the East-European Plain, and embraces essentially agricultural areas.*

Исследование микроэлементного состава мхов, лишайников, торфа верховых болот позволяет определить уровень загрязнения атмосферного воздуха полярных районов и является элементом мониторинга фоновое состояние геосистем [1]. Как известно, в атмосфере полярных районов в период окончания зимы—начала весны накапливаются пылевые частицы, тяжелые металлы и другие вещества, переносимые из умеренных широт, — явление, названное арктической дымкой [2, 3]. Состав атмосферных выпадений металлов на севере Западной Сибири зависит также от местных антропогенных источников, связанных преимущественно с добычей нефти и газа. Поэтому изучение атмосферного загрязнения представляет часть комплексной оценки состояния окружающей среды и необходимо для контроля экологической ситуации в районах освоения месторождений углеводородного сырья.

Цель исследования — выявление пространственно-временных закономерностей атмосферных выпадений тяжелых металлов на севере Западной Сибири с использованием в качестве объектов исследования сфагновых мхов и торфа верховых болот. Верховые торфяники в силу ряда свойств являются информативными объектами мониторинга атмосферных выпадений металлов. Как автономные геохимические комплексы они зависят от поступления веществ атмосферным путем [4] и характеризуются относительно однородным строением вертикального профиля, что позволяет выполнить ретроспективный анализ интенсивности атмосферных выпадений [5–7].

Широкое распространение торфяных болот на севере Западной Сибири дает возможность отбора проб практически в любом географическом районе. Торф обладает исключительно высокой сорбционной емкостью по отношению к металлам [5, 7]. Повышенная растворимость многих металлов в восстановительной обстановке — марганца, меди, цинка, железа, никеля, кобальта, их способность создавать с органическим веществом мигрирующие формы соединений позволяют рассматривать олиготрофно-болотные комплексы как индикаторы и очаги загрязнения металлами [8].

Образцы торфа и сфагновых мхов — основных торфообразователей верховых болот, отобраны на различных участках Тюменской области — от тундры до подтайги. В тундровой и лесотундровой зонах изучен микроэлементный состав торфа плоскобугристых болот с мощностью залежи 55–70 см.



Рис. 1. Схема расположения участков исследований.

1 — п-ов Ямал, Бованенковское нефтегазовое месторождение; 2 — устье р. Нурмаяха; 3 — Тазовский п-ов, бассейн р. Монгоюрйбей; 4 — Северо-Уренгойское нефтегазовое месторождение; 5 — природный парк Нумто; 6 — Тальниковое месторождение; 7 — Южно-Киньяминское месторождение; 8 — Тарманский лесоболотный комплекс.

В таежной зоне пробы торфа отбирались из разрезов крупнобугристых болот с мощностью торфяной залежи 1–1,5 м. Пробы были взяты из генетических горизонтов, различающихся по цвету, ботаническому составу, степени разложения торфа. Если генетические горизонты визуально не прослеживались, пробы отбирались через равные промежутки (10 см). Пробы напочвенных сфагновых мхов брались в пяти точках пробной площади (10 × 10 м) методом конверта, из них составлялась одна сборная проба с массой 200–300 г (рис. 1).

Наши исследования представляли часть комплексной оценки экологического состояния окружающей среды на территориях предстоящего освоения месторождений нефти и газа. В период опробования в пределах исследуемых участков отсутствовали крупные локальные источники атмосферных эмиссий металлов. На участках Бованенковского, Северо-Уренгойского и Киньяминского место-

рождений проводилось разведочное бурение, однако пробы сфагновых мхов и торфа отбирались на значительном расстоянии от источников загрязнения. Наиболее интенсивная техногенная нагрузка характерна для Тальникового месторождения, где на момент отбора проб велась подготовка к промышленной эксплуатации и участок покрывала густая сеть скважин.

Для сопоставления с торфяниками северных районов Тюменской области изучался состав торфа Тарманского болотного массива, расположенного в подтаежной зоне на расстоянии 40–70 км от Тюмени и подверженного значительной антропогенной нагрузке, связанной как с осушением и добычей торфа, так и с переносом загрязненных воздушных масс из прилегающих промышленно развитых территорий.

В лабораторных условиях пробы торфа и сфагновых мхов просушивались до абсолютно сухого веса при температуре 110 °С. Из просушенного материала путем деления на четыре части для химического анализа отбиралась навеска (приблизительно 2 г), которая подвергалась озолению «мокрым» способом с использованием последовательно азотной, фтороводородной и хлорной кислот. Содержание тяжелых металлов определялось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе Perkin-Elmer в аккредитованном аналитическом центре Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН (Новосибирск).

Для получения данных о скорости торфонакопления и определения интенсивности выпадения тяжелых металлов в различные отрезки времени устанавливался абсолютный возраст образцов торфа из двух разрезов методом радиоуглеродного анализа в лаборатории геологии кайнозоя и палеоклиматологии Института геологии СО РАН (Новосибирск). Остаточная активность углерода определялась на двухканальной установке по бензолно-сцинтилляционному варианту, для расчета возраста использован период полураспада  $^{14}\text{C}$ , равный 5570 лет.

Сфагновые мхи, являющиеся основными торфообразователями верховых болот, имеют низкую зольность — 0,9–1,8 % (в среднем 1,3 %), связанную со слабой обеспеченностью элементами минерального питания растений на верховых болотах и замедленным биологическим круговоротом. Однако содержание микроэлементов в сфагновых мхах, как правило, превышает кларковое содержание

Содержание металлов в сфагновых мхах Западной Сибири

Участок	Fe	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	Zn	Pb	Cd
П-ов Ямал, Бованенковское месторождение (n 8)	0,14	4,1	0,92	< 0,1	200	< 0,5	3,2	0,32	—
	15,6	456	102	< 11	22223	< 55	356	36	
П-ов Ямал, устье р. Нурмаяха (n 1)	0,32	4,6	0,87	0,19	184	4,8	34	1,0	0,18
	24,6	354	67	15	14154	369	2615	77	14
Тазовский п-ов, бассейн р. Монгоюрйбей (n 2)	0,038	2,9	1,2	0,2	301	5,3	45	2,6	< 0,02
	2,5	193	80	13	20100	353	3000	173	< 1,3
Северо-Уренгойское месторождение (n 3)	0,081	3,8	1,3	0,31	288	1,3	15,8	2,1	< 0,02
	6,3	292	100	24	22177	100	1215	161	< 1,5
Природный парк Нумто (n 11)	0,063	3,28	1,23	0,23	333	1,98	53,6	2,5	0,085
	4,8	252	95	18	25600	152	4123	192	6,5
Тальниковое место-рождение (n 2)	0,041	2,6	1,12	0,2	210	2,3	28	5,4	< 0,02
	2,9	186	80	14	15036	164	2000	385	< 1,4
Южно-Киньяминское месторождение (n 2)	0,044	2,85	1,32	0,38	276	1,35	35,5	5,8	< 0,02
	3,3	219	102	19	21269	103	2731	446	< 1,5
Тарманский лесоболотный комплекс (n 2)	0,154	4,05	3,9	6,15	748	4,4	45	8,5	0,14
	8,5	225	216	341	41556	244	2500	472	7,8
Зола растительности суши, % [9]	1	200	40	20	4800	35	1000	50	0,1
Фоновые участки севера Евразии, мг/кг абс. сухого веса [10]	0,08	3,0	4,0	0,5	—	—	20	4,0	0,3

Примечание. Содержание Fe дано в %, остальных элементов — в мг/кг сухого веса (числитель), мг/кг золы мха (знаменатель). n — кол-во проб.

веществ в золе растений по В. В. Добровольскому [9] (табл. 1). Особенно значительны показатели накопления марганца, железа, свинца, хрома, в некоторых случаях — кадмия. Содержание этих металлов превышает кларки в несколько десятков раз. Таким образом, сфагновые мхи Западной Сибири выступают накопителями металлов — кадмия, свинца, кобальта, цинка [7], причем интенсивное накопление характерно для всех природных зон.

При сопоставлении с уровнем фоновых концентраций металлов в сфагновых мхах на севере Евразии [10] установлено, что в полярных районах Западной Сибири содержание металлов находится на низком уровне и соответствует критериям незагрязненных территорий. В таежной зоне фоновый уровень незначительно превышает содержание свинца.

При географическом анализе микроэлементного состава сфагновых мхов Западной Сибири отмечается тенденция увеличения концентраций никеля и свинца от севера к югу, отчетливо выделяется широтный градиент концентрации этих элементов (рис. 2). Сходная тенденция выявлена ранее для напочвенных и эпифитных лишайников [11]. Она характерна также для других полярных и бореальных районов: на территории Канадской Арктики установлено существование широтного градиента выпадений свинца с ясно выраженной тенденцией сокращения содержания этого элемента в лишайниках с возрастанием широты [12].

Таким образом, формирование микроэлементного состава споровых растений в определенной степени подчинено пространственным (широтнo-зональным) закономерностям. Это может быть связано с разной степенью загрязнения атмосферы промышленно развитых районов умеренной зоны и относительно «чистого» севера; опреде-

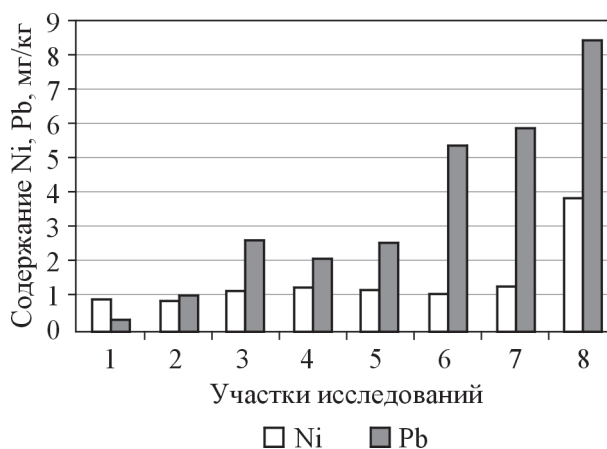


Рис. 2. Содержание микроэлементов в сфагновых мхах, мг/кг абс. сухого веса (номера участков см. на рис. 1).

ленное значение имеют широтные различия биоклиматических параметров, предопределяющие физиологические условия сорбции, удержания и накопления аэрозольных частиц мхами и лишайниками.

Однако аэрозольные поступления — не единственный источник химических веществ для растений верховых болот. Болотная растительность накапливает также вещества, содержащиеся в болотных водах, поэтому важнейшим фактором формирования химического состава сфагновых мхов является высокая подвижность многих микроэлементов в кислых болотных водах и, соответственно, их значительная биогенная активность. В частности, высокое содержание в сфагновых мхах железа связано с его подвижностью в восстановительной глеевой среде [4].

Сопоставление наших данных с ранее опубликованными сведениями о микроэлементном составе сфагновых мхов северных территорий [1, 7, 13–17] позволило выявить некоторые биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири. Прежде всего необходимо отметить высокое содержание марганца, значительно превышающее его средние показатели для сфагновых мхов других полярных и бореальных районов. «Марганцевая» биогеохимическая специализация служит отличительным свойством растительности Западной Сибири. В кислых болотных водах марганец очень подвижен, он интенсивно накапливается растительностью и легко высвобождается из растительных остатков, его биогенная активность в Западной Сибири уступает только углероду и азоту [8]. Таким образом, причина интенсивного биологического поглощения марганца сфагновыми мхами — высокая подвижность этого элемента в окислительно-восстановительной обстановке болотных ландшафтов.

Сфагновые мхи Западной Сибири отличаются от таковых севера Западной Европы низкой концентрацией свинца, не превышающей 10 мг/кг, а в большинстве проб — не более 3 мг/кг, что близко к уровню фоновых, незагрязненных территорий [10]. Для сравнения, в Норвегии содержание свинца в сфагновых мхах составляет 26 мг/кг [14], в Финляндии (60° с. ш.) — 28 мг/кг [1]. В Канаде также выявлены высокие концентрации этого элемента в сфагновых мхах — от 15 до 78 мг/кг [15]. Характерно, что содержание свинца в сфагновых мхах Западной Сибири, несмотря на его большую роль в процессах сфагнового торфообразования, значительно ниже, чем в промышленных густонаселенных регионах Северного полушария.

Арктические районы Западной Сибири отличаются весьма большим сходством составов сфагновых мхов с арктическими районами Якутии, где содержание свинца составляет 0,3, меди — 4, железа — 1743 мг/кг абс. сухого веса [16]. Необходимо также отметить, что полученные нами значения содержания химических элементов в сфагновых мхах среднетаежной подзоны (см. рис. 1, участки 6, 7) довольно сходны со значениями, полученными при изучении состава растений-торфообразователей Васюганского болота, сфагновые мхи которого имеют следующие концентрации металлов: Fe — 536 мг/кг, Zn — 29, Cr — 2, Co — 0,25 мг/кг абс. сухого веса [17].

По содержанию кадмия в сфагновых мхах Западная Сибирь занимает промежуточное положение между районами европейской территории России (ЕТР) и центральной Сибири. Концентрация этого элемента в золе сфагнома болот ЕТР 4–55 мг/кг, в то время как в низовьях Енисея эти показатели значительно меньше (1,3–1,9 мг/кг) [7]. В северных районах Западной Сибири содержание кадмия, как правило, не превышает 2 мг/кг золы. Относительно высокие его концентрации отмечены на п-ове Ямал (низовья р. Нурмаяха) и в нескольких пробах на территории природного парка Нумто.

Таким образом, уровень атмосферных выпадений металлов в Западной Сибири, судя по данным о химическом составе сфагновых мхов, невысок и соответствует уровню, характерному для фоновых районов севера Евразии. Связано это с отсутствием крупных источников атмосферных эмиссий металлов при проведении геолого-разведочных и буровых работ. Исследование состава лишайников в районах бурения также свидетельствует о невысокой степени загрязнения [11]. Сходная картина наблюдается и в других районах нефтедобычи. Изучение состава снега в районе нефтяного месторождения Прадхо-Бей (Аляска) позволило выявить геохимические ассоциации элементов, соответствующие составу буровых растворов, однако не дало явного свидетельства существенного атмосферного загрязнения, связанного с нефтедобычей [18].

Тем не менее полностью игнорировать факт загрязнения воздуха тяжелыми металлами в районах освоения месторождений углеводородного сырья нельзя, поскольку количество объектов — источников загрязнения (буровые, вахтовые поселки, компрессорные станции и др.) — весьма велико. Количество скважин на территории Ханты-Мансийского автономного округа ежегодно увеличивается более чем на 2000 единиц; выбросы твердых веществ в атмосферу в 2002 г. составили здесь более 150 тыс. т, при этом отмечается ежегодный рост их объема более чем на 30 % [19, 20]. Это свидетельствует о необходимости контроля за уровнем атмосферных выпадений металлов на участках промышленного освоения.

Средняя зольность исследованных образцов торфа составила 4,3 %. Содержание металлов в нем во многом сходно с таковым в сфагновых мхах. Как и сфагновые мхи, торф верховых болот Западной Сибири отличается высоким содержанием марганца и железа (табл. 2).



Содержание металлов в торфе болот Западной Сибири

Металл	Верховой торф		Среднее содержание в золе	
	абс. сухое вещество	зола	по [7]	по [21]
Fe	0,04–2 (0,53)	0,84–47 (12,3)	2,90	24,27
Mn	3,6–886 (184)	83–32 588 (4279)	700	2200
Cu	0,8–13 (4,9)	18–302 (144)	89	260
Zn	1,2–100 (17,8)	28–2325 (414)	940	550
Ni	1–25 (6,8)	23–581 (158)	180	20
Co	0,2–15 (4,2)	5,1–348 (98)	45	21
Pb	0,1–32 (4,8)	2,3–744 (111)	120	—
Cr	0,9–65 (19,5)	21–1511 (453)	120	—
Cd	<0,02–0,34 (0,04)	<0,5–7,9 (0,93)	15,5	—

Примечание. Приведены пределы колебаний, в скобках — среднее количество. Содержание Fe — в %, остальных элементов — в мг/кг.

Наиболее полный анализ микроэлементного состава верховых болот осуществлен для европейской части России В. Н. Крештаповой [13] и О. П. Добродеевым [7]. Согласно обобщающим данным [7], среднее содержание марганца в золе верхового торфа составляет 700 мг/кг, а кларковое в золе торфов различного состава — в среднем 2200 мг/кг [21]. По результатам наших исследований, содержание марганца в золе верховых торфов Западной Сибири значительно превышает эти величины и составляет в среднем 4279 мг/кг (см. табл. 2). Максимальные концентрации этого металла, достигающие 886 мг/кг сухого веса (более 12 г/кг золы), отмечены в торфя-

нике Тарманского болотного комплекса. Концентрация марганца в золе торфа значительно ниже, чем в золе сфагновых мхов, поскольку в составе растений этот элемент находится в легкорастворимой форме и быстро освобождается из разлагающихся растительных остатков [8].

Таким образом, основная биогеохимическая особенность верховых болот Западной Сибири — повышенное содержание марганца в торфе и растениях-торфообразователях. Этот факт приводился ранее для таежных геосистем Тюменской [8, 22] и Томской областей [23]. Отмечалось также, что высокие значения марганца в торфе характерны для таежной зоны Предуралья. Если в верховом торфе европейской части России содержание этого металла составляет 13–15 мг/кг сухого веса, то в Предуралье оно достигает 1442 мг/кг [24]. В вертикальном распределении марганца по профилю торфяников определенных закономерностей выявить не удалось. Если в одних случаях его концентрации постепенно увеличиваются вниз по профилю разреза, то в других — распределение носит случайный характер либо содержание максимально в поверхностном горизонте.

Железо — типоморфный элемент ландшафтов кислого глеевого класса [4], в торфах Западной Сибири имеет повышенные концентрации. В торфяных почвах оно находится в различных формах, из которых важнейшую роль в миграционных процессах играют железоорганические соединения [8, 25]. Установлено, что в центральной части Западной Сибири в верховом торфе содержание железа составляет 0,08–0,4 % абс. сухого вещества [25]. По нашим данным, диапазон варьирования концентрации железа в торфах Западной Сибири выше — от 0,04 до 2 % абс. сухого вещества (см. табл. 2).

Максимальное содержание этого металла отмечено в торфе болот тундры и лесотундры, где оно достигает 28 % зольного остатка. По сравнению с другими регионами содержание железа в золе торфов Западной Сибири весьма велико: приблизительно в четыре раза выше средних значений, характерных для верховых торфов [7]. Как правило, железо относительно равномерно распределяется по профилю почв, однако в ряде случаев отмечена тенденция увеличения его концентрации в верхней части разреза. Содержание железа в торфе выше, чем в сфагновых мхах, что связано с закреплением в торфах окисных форм железа.

Содержание в верховых торфах Западной Сибири микроэлементов отличается большой вариабельностью, разброс значений достигает двух математических порядков, что говорит о резких различиях в условиях их поступления в торфяную залежь, накопления их растениями и закрепления на торфяном биогеохимическом барьере.

Концентрации свинца и никеля близки к средним значениям для верховых торфяных залежей (см. табл. 2). В торфе их значения приблизительно такие же, как в сфагновых мхах. Содержание свинца минимально в торфе полярных районов Западной Сибири, где составляет в среднем 80–125 мг/кг золы. В таежной зоне оно повышается до 150–200 мг/кг золы. Количество свинца в торфе не связано корреляционной зависимостью ни с одним из других элементов. Высокая достоверная положительная корреляция отмечена между содержанием в торфе железа, марганца, меди и никеля.

Концентрация меди в торфе верховых болот Западной Сибири незначительно выше среднего уровня, характерного для верховых торфов. Максимальное ее содержание (150–182 мг/кг золы) отмечено в тундровой и лесотундровой зонах. В торфе оно значительно ниже, чем в растениях-торфообразователях (сфагновых мхах), что свидетельствует о довольно высокой подвижности этого элемента в окислительно-восстановительных условиях болотных вод.

Цинк — элемент, интенсивно накапливаемый растительностью, но его высокая подвижность в кислой среде болотных ландшафтов приводит к интенсивному вымыванию из растительных остатков. Вследствие этого содержание цинка в торфе значительно ниже, чем в сфагновых мхах, причем наибольшие различия характерны для южных районов Западной Сибири, где в сфагновых мхах оно в 3–7 раз выше, чем в торфе. Среднее содержание цинка в торфе Западной Сибири вдвое ниже среднего уровня, характерного для верховых торфов.

Кобальт, наоборот, больше накапливается в торфах, чем в растениях-торфообразователях благодаря очень слабой подвижности в условиях кислых болотных ландшафтов и малой миграционной активности. Торф верховых болот Западной Сибири по содержанию кобальта превосходит сопредельные территории. Это же характерно и для хрома, причем его высокое содержание в торфах отмечено ранее на территории юго-востока Западно-Сибирской равнины [23].

Обращает на себя внимание тот факт, что концентрация кадмия в торфах верховых болот Западной Сибири на один математический порядок ниже установленных ранее кларковых значений [7]. Однако, поскольку эти данные получены главным образом по материалам анализов торфов европейской территории России, содержание кадмия в аэрозолях Западной Сибири значительно ниже.

Для определения временных закономерностей выпадений тяжелых металлов заложены разрезы верховых торфяников и определен абсолютный возраст отдельных генетических горизонтов торфа на фоновой территории (природный парк Нумто, район Сибирских Увалов) и вблизи промышленно развитых регионов (Тарманский болотный комплекс).

На территории природного парка Нумто разрез проложен в верхней части торфяного бугра, составляющего часть комплекса крупнобугристого торфяника плоской приозерной террасы. Растительность кустарничково-мохово-лишайниковая на буграх и осоково-сфагновая в понижениях. На основе определения абсолютного возраста установлено, что торфонакопление на территории парка Нумто идет медленными темпами. Датировка сделана по двум образцам с разной глубины разреза. Абсолютный возраст торфа на глубине 25 см составляет  $5540 \pm 50$  лет, на глубине 57–60 см —  $7830 \pm 85$  лет. Таким образом, при общей мощности торфяной залежи 80 см ее возраст составляет примерно 10 000 лет, а скорость торфонакопления — 0,05–0,08 мм/год. Особенности торфообразования соответствуют его закономерностям в зоне крупнобугристых болот Западной Сибири, согласно которым скорость торфонакопления составляет около 0,1 мм/год, а средняя мощность торфяной залежи — около одного метра [26].

В пределах Тарманского болотного комплекса скорость торфонакопления значительно выше. Возраст торфа на глубине 25 см составляет  $1505 \pm 50$  лет, на глубине 65 см —  $3685 \pm 40$  лет, а скорость торфонакопления — около 0,16 мм/год.

Характер вертикального распределения микроэлементов в торфяной толще зависит от множества факторов — окислительно-восстановительных условий, кислотности, ботанического состава торфа, интенсивности атмосферных выпадений металлов. Факт уменьшения с глубиной концентрации свинца в толще верховых торфяников описан достаточно хорошо [1, 5, 7] и объясняется возрастанием запыленности атмосферы и резким повышением атмосферных эмиссий этого металла за последнее столетие. Характер распределения в профиле торфяников цинка сходен с таковым свинца [1]. Вертикальное распределение меди не имеет столь ярко выраженной тенденции падения ее концентрации с глубиной. Отмечено, что медь довольно равномерно распределяется в толще верховых торфяников [7]; по другим данным, в толще полигонального торфяника фоновой территории это все-таки сходно с распределением свинца и цинка, и ее максимальные концентрации — в поверхностных слоях [1].

Как свидетельствуют результаты наших исследований, вертикальное распределение микроэлементов в толще торфяников Западной Сибири различно для территории, подверженной антропогенному влиянию, и фоновой. В толще торфяника природного парка Нумто, где отсутствуют крупные антропогенные источники тяжелых металлов, распределение химических элементов по профилю не имеет тенденции возрастания в верхних горизонтах (рис. 3, а). Только для свинца характерно незначительное повышение концентрации в верхних 10 см. Содержание никеля и меди возрастает в нижних слоях торфа, в зоне контакта с подстилающей минеральной породой.

В противоположность этому для Тарманского болотного комплекса, расположенного на густонаселенном участке сельскохозяйственной зоны Тюменской области, характерно резкое возрастание содержания микроэлементов и железа в верхней части профиля (см. рис. 3, б). Абсолютный возраст слоев торфа, для которого характерно увеличение содержания свинца, меди, железа, не превышает 600–700 лет. Возрастание концентрации никеля прослеживается в несколько более глубоких слоях торфа.

На территории европейской части России воздействие антропогенных источников поступления свинца и цинка отмечено в слоях верховых торфяников возрастом около 1,5 тыс. лет, увеличение поступления свинца в это время связано с распространением подсечно-огневого земледелия [7]. На участках, располагающихся в умеренной климатической зоне Западной Сибири, увеличение атмо-

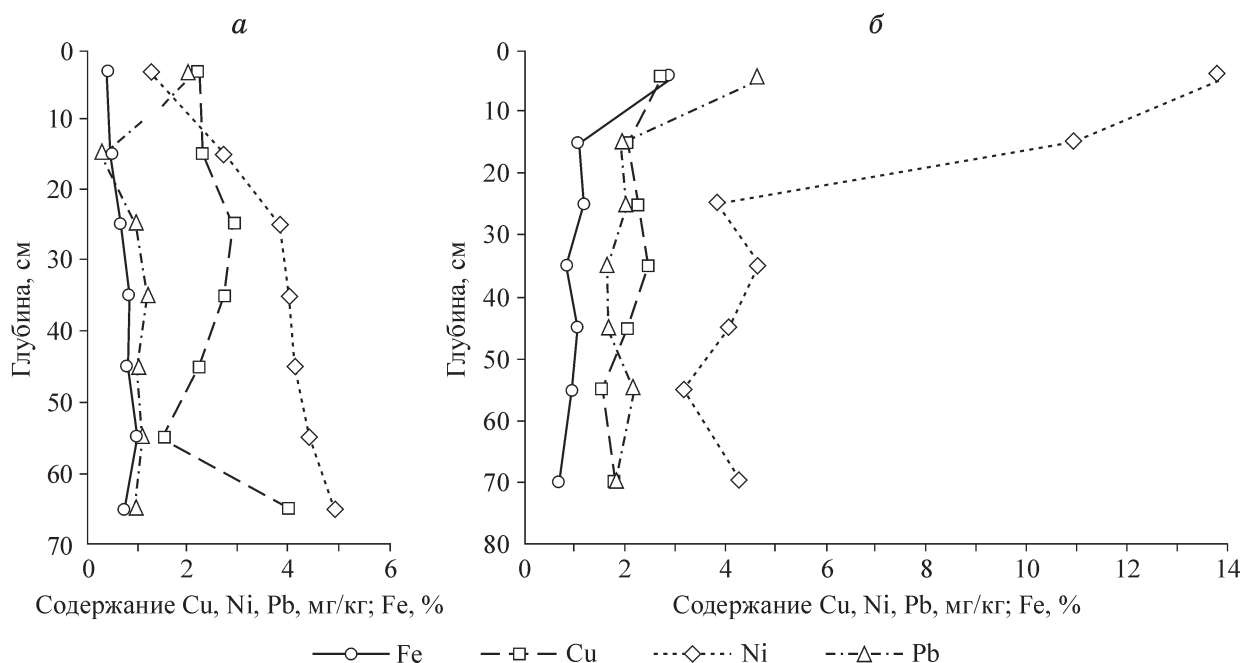


Рис. 3. Содержание металлов в профилях торфяников природного парка Нумто (а) и Тарманского болотного комплекса (б).

сферных выпадений металлов (свинца, меди, железа), как свидетельствуют результаты анализа разреза торфяника Тарманского болотного комплекса, произошло значительно позже. Очевидно, процесс возрастания запыленности атмосферы также связан с распространением земледелия, сопровождавшегося выжиганием лесов (широкое распространение земледелия началось в этом районе с приходом русского населения, около 450 лет назад).

Таким образом, главные особенности состава торфа верховых болот Западной Сибири — высокие показатели содержания железа, марганца, хрома и малые концентрации кадмия. Несколько выше средних значений концентрации меди. Современный уровень атмосферных выпадений металлов невелик, и их содержание в сфагновых мхах соответствует уровню на фоновых территориях. Увеличение атмосферных выпадений металлов началось на территории Западной Сибири позже, чем на Восточно-Европейской равнине, и затрагивает главным образом районы сельскохозяйственной зоны с более высокой плотностью населения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евсеев А. В., Корзун А. В., Красовская Т. М., Соломатин В. И. Геохимические аспекты проблемы организации фонового мониторинга природной среды в районах Крайнего Севера СССР // Географическое прогнозирование и охрана природы. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990.
2. Barrie L. A. Arctic air pollution: an overview of current knowledge // Atmospheric Environment. — 1986. — Vol. 20.
3. Shaw G. E. Chemical air mass systems in Alaska // Atmospheric Environment. — 1988. — Vol. 22, № 10.
4. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. — М.: Высш. шк., 1975.
5. Баденкова С. В., Добродеев О. П., Сухова Т. Г. Распределение свинца в разрезе верховых торфяников как показатель нарастающего загрязнения атмосферы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 1982. — № 3.
6. Glooschenko W. A. Monitoring the atmospheric deposition of metals by use of bog vegetation and peat profiles // Advances in Environmental Science Technology. — 1986. — Vol. 17.
7. Добродеев О. П. Особенности биогеохимии тяжелых металлов верховых болот // Природные и антропогенно измененные биогеохимические циклы: Труды Биогеохимической лаборатории. — М.: Наука, 1990. — Т. 21.
8. Нечаева Е. Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. — Иркутск, 1985.
9. Добровольский В. В. География микроэлементов: Глобальное рассеяние. — М.: Мысль, 1983.
10. Евсеев А. В. Биоиндикация и аэротехногенное распространение тяжелых металлов в геосистемах севера Евразии // Материалы четвертой Российской биогеохимической школы «Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы». — М.: Наука, 2003.
11. Valeeva E. I., Moskovchenko D. V. Trace element composition of lichens as an indicator of atmospheric pollution in Northern West Siberia // Polar Geography. — 2002. — Vol. 26, № 4.

12. **France R., Coquery M.** Lead concentrations in lichens from the Canadian high arctic in relation to the latitudinal pollution gradient // *Water, Air, and Soil Pollution*. — 1996. — Vol. 90 (3–4).
13. **Крештапова В. Н.** Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях европейской части РСФСР. — М.: Геолторфразведка, 1974.
14. **Steinnes E.** Some aspects of biomonitoring of air pollutants using mosses // Markert B., ed. *Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. Weinheim. — Cambridge: VCH Publishers, 1993.
15. **Glooschenko W. A., Sims R., Gregory M., Mayer T.** Use of bog vegetation as a monitor of atmospheric input of metals // Eisenreich Steven J., ed. *Atmospheric pollutants in natural waters*. — Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science Publ., 1981.
16. **Слипенчук М. В.** Оценка геохимических особенностей растительного и почвенного покрова северной Якутии в связи с организацией станций фонового мониторинга. — Деп. в ВИНТИ 02.03.89. — № 1423-B89.
17. **Цыбукова Т. Н., Инишева Л. И., Тихонова О. К. и др.** Характеристика элементного состава торфяного сырья олиготрофного болота // *Химия растительного сырья*. — 2000. — № 4.
18. **Snyder-Conn E., Garbarino J. R., Hoffman G. D., Oelkers A.** Soluble trace elements and total mercury in arctic alaskan snow // *Arctic*. — 1997. — Vol. 50, № 3.
19. **О состоянии** окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2001 году. — Ханты-Мансийск, 2002.
20. **О состоянии** окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2002 году. — Ханты-Мансийск, 2003.
21. **Справочник** по геохимии / Войткевич Г. В., Кокин А. Е., Мирошников А. Е., Прохоров В. Г. — М.: Недра, 1990.
22. **Нечаева Е. Г.** Геохимические закономерности торфообразования на Западно-Сибирской равнине // *География и природ. ресурсы*. — 1992. — № 3.
23. **Инишева Л. И., Цыбукова Т. Н.** Эколого-геохимическая оценка торфов юго-востока Западно-Сибирской равнины // *География и природ. ресурсы*. — 1999. — № 1.
24. **Микроэлементы** в почвах Советского Союза / Ред. В. А. Ковда, Н. Г. Зырин. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973.
25. **Архипов В. С., Бернатонис В. К., Резчиков В. И.** Железо в торфах центральной части Западной Сибири // *Почвоведение*. — 1997. — № 3.
26. **Болота** Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. — Л.: Гидрометеиздат, 1976.

*Институт проблем освоения Севера  
СО РАН, Тюмень*

*Поступила в редакцию  
19 августа 2004 г.*