

УДК 911.52 (571.1)

Е. Э. ВЕРЕТЕННИКОВА

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

**СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ТОРФАХ ЮЖНОТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Приведены данные по концентрациям химических элементов в разных по условиям формирования торфах Томской области. Выявлены закономерности распределения и накопления элементов в торфах верхового и низинного типов в зависимости от их ботанического состава. Установлено, что рассматриваемые виды торфов верхового типа достоверно различаются ($p < 0,01$) между собой по средним концентрациям Ca, Fe, Sr, Ba, Co, Cr, La, Sm и Eu. Статистически значимых различий рассматриваемых видов торфа по средним концентрациям Br, Sc, Hf и Th не обнаружено.

Ключевые слова: торфа, химические элементы, ботанический состав, кларки концентраций.

Presented are the data for concentrations of chemical elements in Tomsk oblast's peats differing in formation conditions. The analysis revealed some regularities in the distribution and accumulation of elements in peats of the high-bog and fen types in relation to their botanical composition. It is found that the relevant kinds of peats of the high-bog type reliably differ ($p < 0.01$) from one another in mean concentrations of Ca, Fe, Sr, Ba, Co, Cr, La, Sm and Eu. The kinds of peat under consideration showed no statistically significant differences in mean values of Br, Sc, Hf and Th.

Keywords: peats, chemical elements, botanical composition, clarkes of concentration.

ВВЕДЕНИЕ

В торфах присутствует широкий спектр химических элементов. В литературе отмечена значительная природная неравномерность их концентрации как по глубине, так и по площади распространения торфяных месторождений. Наиболее обстоятельный анализ торфов на содержание в них химических элементов проведен на европейской части России [1, 2]. Значительно слабее изучен элементный состав торфов Западной Сибири. По этому региону имеются сведения о валовых содержаниях и подвижных формах элементов, их миграции и дифференциации по площади и глубине торфяных залежей, частично изучены связи элементного состава с минеральной частью и ботаническим составом торфов [3–8], органическим веществом [9]. Опубликованы данные о содержаниях и распределении в торфах и торфяных залежах железа [10], а также элементов группы железа (Co, Cr) [8]. Дана подробная характеристика элементного состава высокозольных пойменных торфов [11]. Вместе с тем такие исследования охватывают только часть территории Западной Сибири, что затрудняет понимание закономерностей формирования элементного состава торфов региона в целом, а также обоснование средних содержаний химических элементов в торфах и получение их фоновых концентраций. Недостаточно изучены вопросы накопления химических элементов в торфах разного ботанического состава. Такая информация имеет большое значение для региональных и локальных работ, когда должна учитываться специфика элементного состава торфов. Недостаток сведений вынуждает использовать глобальные показатели (кларки химических элементов в почвах мира, горных породах и т. п.). В случае существенного отличия регионального фона от глобального можно или не заметить начавшееся техногенное загрязнение, или, напротив, принять естественный региональный фон за результат техногенного воздействия. Для исключения подобных оценок необходимо получение сведений о содержании химических элементов в торфах отдельных регионов.

Торфяные болота в ходе длительного саморазвития активно распространяются в таежных ландшафтах Западной Сибири (заболоченность территории в отдельных районах достигает 80 %) и влияют на геохимию зоны гипергенеза. Поэтому изучение содержания химических элементов в торфах, несомненно, актуальная проблема.

Цель работы — выявить закономерности содержания и распределения химических элементов в различных по условиям формирования и ботаническому составу торфах южнотаежной подзоны Западной Сибири (в пределах Томской области).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований послужили репрезентативные торфа верхового и низинного типов, отобранные из девяти торфяных месторождений Томской области. Месторождения сформированы на террасах и водоразделах и, согласно болотному районированию [12], расположены в двух торфоболотных округах — Бакчарском и Кеть-Чулымском (см. рисунок).

Среди верховых торфов отобраны пробы, относящиеся к моховой (комплексный, фускум, сфагново-мочажинный виды) и травяно-моховой (пушицево-сфагновый) группам. Низинные торфа представлены древесной (древесный вид), древесно-травяной (древесно-осоковый), травяной (осоковый) и травяно-моховой (осоково-гипновый) группами. В исследованных торфах зольность не превышает 12 %. Каждый вид торфа по ботаническому составу представлен выборкой из 12–20 образцов. Всего проанализировано 140 образцов. С целью исключения антропогенного влияния на накопление химических элементов все образцы торфа отбирались на глубине не менее 50 см. Для оценки пространственной дифференциации химических элементов использовали известное положение об их абсолютном содержании в конкретных телах на фоне глобальной распространенности (кларки в почвах [13] и литосфере [14]).

В работе рассматриваются следующие химические элементы: Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Br, Sr, Ba, Hf, La, Ce, Sm, Eu, Th, U. Содержание элементов определялось методом нейтронно-активационного анализа на ядерном реакторе ИРТ-2000 с использованием гамма-спектрометра ГА-512 в Институте ядерной физики при Томском политехническом университете. Всего исследовано 27 химических элементов. В процессе обсуждения результатов исключены те элементы, содержание которых обнаружено в единичных пробах (Na, Ni, Rb, Ag, Sn, Sb, Cs, Tb, Yb) либо оказалось за пределами чувствительности метода (As, Au, Hg).

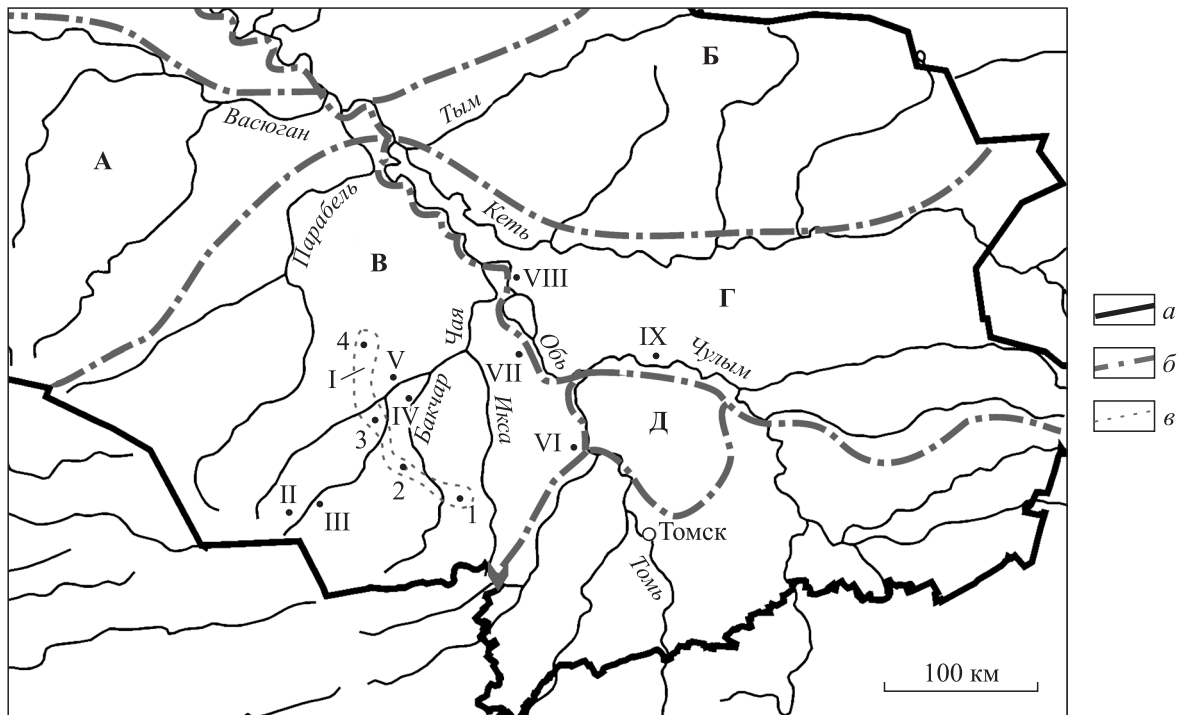


Схема расположения пунктов отбора проб.

Болотные округа: А — Васюганский, Б — Кеть-Тымский, В — Бакчарский, Г — Кеть-Чулымский, Д — Обь-Чулымский. Торфяные месторождения: I — Васюганское (1–4 — участки), II — Карабушкинское, III — Большое, IV — Суховское, V — Озерное, VI — Гусевское, VII — Карасевое, VIII — Клюквенное, IX — Болван. Границы: а — Томской области, б — болотных округов (по [12]); в — территории отбора образцов на Васюганском торфяном месторождении.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Аналитические данные, характеризующие торфа южнотаежной зоны Западной Сибири, представлены в табл. 1. Анализ массива данных показал, что для распределения химических элементов как в верховых, так и в низинных торфах характерна положительная асимметрия, чаще всего свидетельствующая о том, что максимальное число вариаций приходится на величины больше среднего арифметического. Наблюдаются достаточно значительные вариации содержаний практически всех химических элементов в исследуемых торфах. Коэффициенты вариации специально не рассчитывались, поскольку величины стандартного отклонения и среднего содержания уже дают представление о реальной вариации.

Известно, что геохимические свойства торфов определяются множеством факторов, среди которых ведущие — характер и качество грунтовых вод, подстилающие породы, отражающие геохимию территории, а также уровень трофности и ботанический состав.

Проведенный нами сравнительный анализ [15] показал, что торфа характеризуются повышенным содержанием Ca, Fe, Sc, Co, Ba, Sr, Br по сравнению со своими аналогами на европейской территории России [1, 2] и средними показателями, рассчитанными в целом для торфов России [16]. По-видимому, это связано с региональным литогеохимическим фоном. В частности, повсеместное распространение на территории южнотаежной подзоны Западной Сибири лёссовидных пород, обогащенных кальцием, железом, а также рядом микроэлементов (Ba, Sr, Br, Mn, Zn, Mo, Sc), предопределило особенности элементного состава торфов исследуемой территории [17].

Повышенное содержание Fe в торфах как верхового, так и низинного типов, по-видимому, обусловлено влиянием мощных залежей сидеритов Бакчарского железорудного бассейна, что отмечалось ранее [3, 10]. Источник Ca в торфах — повсеместно распространенные на территории исследований глинистые отложения повышенной карбонатности (содержание Ca в них составляет 7–8 %, иногда достигает 13–20 %) [18]. В богатых кальцием почвообразующих породах отмечается также высокое содержание стронция — доказательство близких свойств этих щелочноземельных элементов [19].

Накопление брома как региональная черта почвообразующих пород Западной Сибири [19] стало предпосылкой его повышенного содержания в торфах южнотаежной подзоны. Исследуемые торфа характеризуются и повышенным содержанием Ba. Заметим, что наши данные несколько отличаются от ранее полученных для таежной зоны. В некоторых работах [3] отмечается пониженное содержание

Таблица 1

Содержание химических элементов в торфах Томской области, мг/кг сухого вещества

Элемент	Верховые торфа		Низинные торфа	
	$\bar{x} \pm \text{Std.Dev.}$	min–max	$\bar{x} \pm \text{Std.Dev.}$	min–max
Ca*	0,29 ± 0,20	0,08–1,60 (65)	1,51 ± 0,96	0,39–7,30 (75)
Sc	67,35 ± 38,70	12,00–200,00 (65)	265,27 ± 91,44	120–570 (72)
Sr	85,49 ± 29,36	45,00–173,00 (65)	195,85 ± 79,41	70–410 (54)
Fe*	0,27 ± 0,42	0,03–2,60 (65)	2,24 ± 0,54	1,20–4,00 (75)
Co	2,00 ± 1,71	0,19–6,60 (61)	6,39 ± 4,27	0,71–47,80 (75)
Br	1,08 ± 1,40	0,27–11,00 (65)	4,78 ± 1,86	1,80–9,70 (75)
Sr	0,57 ± 0,23	0,19–1,30 (65)	0,98 ± 0,59	0,47–5,50 (75)
Ba	0,14 ± 0,05	0,02–0,24 (65)	0,30 ± 0,13	0,10–0,81 (65)
Hf	0,31 ± 0,12	0,12–0,75 (65)	0,51 ± 0,31	0,24–2,10 (75)
La	0,69 ± 0,38	0,25–2,30 (65)	1,59 ± 0,85	0,69–5,60 (74)
Ce	2,52 ± 1,42	0,38–7,10 (65)	4,65 ± 3,41	1,00–23,80 (64)
Sm	0,16 ± 0,08	0,05–0,90 (65)	0,40 ± 0,25	0,09–1,50 (75)
Eu	0,08 ± 0,03	0,01–0,21 (65)	0,13 ± 0,10	0,05–0,58 (75)
Th	9,22 ± 5,0	2,90–45,70 (65)	34,62 ± 12,84	11,00–81,30 (75)
U	0,17 ± 0,07	0,09–0,39 (38)	2,23 ± 1,38	0,40–7,40 (33)

Примечание. \bar{x} — среднее арифметическое; Std.Dev. — среднеквадратическое отклонение; min–max — минимальное и максимальное содержание элемента; в скобках указано количество проанализированных проб в выборке.

* Здесь и в табл. 2 и 3 содержание приведено в %.

Ва (6,3–6,9 мг/кг) в торфяных месторождениях Обь-Иртышского междуречья и юга Томской области. Вместе с тем содержание Ва в торфах Западной Сибири может достигать 1 % [20]. С одной стороны, такие противоречия могут объясняться химической природой самого элемента, обладающего в кислой глеевой обстановке высокой миграционной способностью, которая ведет к обеднению Ва покровных отложений территории исследования. С другой стороны, не исключена возможность вторичной аккумуляции Ва в процессе гипергенеза, приводящей к образованию локальных зон повышенной концентрации элемента [3]. Увеличение содержания Ва в почвообразующих породах рассматривается также как следствие его аккумуляции на карбонатных геохимических барьерах [21].

Наши исследования показали существенные различия средних концентраций элементов в торфах разного ботанического состава. Если рассматривать торфяную залежь как субаквальную генетически инситу систему со знаком минус (так как инситуные инфильтрационные процессы в силу аккумулятивного направления торфообразования развиваются вверх) [22], то ее свойства определяются прежде всего ботаническим составом торфов, слагающих ее профиль, а перемещение элементов питания в нарастающей торфяной залежи в процессе развития болота осуществляется преимущественно биогенным путем [23].

Таблица 2

Содержание элементов в торфах верхового типа, мг/кг сухого вещества

Элемент	Вид торфа			
	пушицево-сфагновый (n = 14)	сфагово-мочажинный (n = 14)	комплексный (n = 17)	фускум (n = 20)
Ca*	$0,18 \pm 0,07$	$0,38 \pm 0,17$	$0,24 \pm 0,12$	$0,27 \pm 0,28$
	0,11 – 0,32	0,10 – 0,64	0,11 – 0,62	0,08 – 1,40
Sc	$0,77 \pm 0,27$	$0,38 \pm 0,09$	$0,70 \pm 0,11$	$0,61 \pm 0,18$
	0,52 – 1,30	0,26 – 0,64	0,46 – 0,87	0,30 – 1,10
Cr	$2,02 \pm 2,06$	$4,66 \pm 1,31$	$2,51 \pm 1,34$	$2,13 \pm 1,02$
	0,20 – 6,30	2,70 – 6,60	0,65 – 4,50	0,19 – 4,0
Fe*	$0,24 \pm 0,20$	$0,15 \pm 0,08$	$0,54 \pm 0,75$	$0,19 \pm 0,04$
	0,09 – 0,78	0,03 – 0,35	0,12 – 2,60	0,10 – 0,28
Co	$1,40 \pm 1,0$	$0,76 \pm 0,27$	$2,27 \pm 2,74$	$0,75 \pm 0,28$
	0,50 – 3,50	0,30 – 1,40	0,48 – 11,0	0,42 – 1,80
Br	$9,44 \pm 3,30$	$13,84 \pm 2,96$	$4,51 \pm 0,94$	$4,43 \pm 1,38$
	5,30 – 15,50	7,20 – 18,40	3,0 – 6,40	2,90 – 7,70
Sr	$48,0 \pm 34,86$	$150,0 \pm 28,50$	$80,06 \pm 44,79$	$49,60 \pm 25,99$
	12,0 – 123,0	100,0 – 200,0	42,0 – 188,0	22,0 – 115,0
Ba	$96,0 \pm 31,58$	$130,0 \pm 21,23$	$77,29 \pm 30,29$	$72,80 \pm 20,10$
	56,0 – 161,0	100,0 – 170,0	51,0 – 173,0	47,0 – 143,0
Hf	$0,11 \pm 0,04$	$0,20 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,06$
	0,06 – 0,17	0,17 – 0,22	0,02 – 0,21	0,06 – 0,24
La	$0,53 \pm 0,20$	$0,96 \pm 0,13$	$0,42 \pm 0,07$	$0,56 \pm 0,36$
	0,34 – 0,91	0,77 – 1,30	0,30 – 0,59	0,25 – 1,90
Ce	$3,91 \pm 1,50$	$1,38 \pm 0,43$	$2,84 \pm 0,34$	$3,42 \pm 0,76$
	2,60 – 7,10	0,90 – 2,20	2,10 – 3,50	2,0 – 5,50
Sm	$0,11 \pm 0,04$	$0,19 \pm 0,05$	$0,08 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,03$
	0,05 – 0,18	0,13 – 0,32	0,06 – 0,12	0,05 – 0,18
Eu	$0,12 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,002$
	0,06 – 0,21	0,05 – 0,09	0,07 – 0,12	0,06 – 0,10
Th	$0,39 \pm 0,19$	$0,28 \pm 0,08$	$0,28 \pm 0,05$	$0,27 \pm 0,07$
	0,20 – 0,75	0,13 – 0,47	0,20 – 0,35	0,16 – 0,50
U	$0,18 \pm 0,09$	Не обн.	$0,14 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,03$
	0,10 – 0,39		0,12 – 0,17	0,11 – 0,23

Примечание. Здесь и в табл. 3 над чертой — среднее арифметическое (\bar{x}) и стандартное отклонение (Std.Dev.); под чертой — минимальное и максимальное содержание элемента; n — количество проанализированных проб.

Нами проанализированы концентрации элементов в каждом отдельном виде торфа. Установлено, что рассматриваемые виды торфов верхового типа достоверно различаются ($p < 0,01$) между собой по средним концентрациям Ca, Fe, Sr, Ba, Co, Cr, La, Sm и Eu; вместе с тем статистически значимых различий по средним концентрациям Br, Sc, Hf, Th не обнаружено (табл. 2). По результатам статистического анализа в сфагново-мочажинных торфах выявлен довольно широкий спектр элементов (Ca, Sr, Ba, Cr, Hf, La, Sm), концентрации которых наиболее высоки; самые низкие концентрации характерны для Fe и Sc. Комплексный вид торфа отличается наиболее высокими концентрациями Fe и Co; пушицево-сфагновый — Ce и Eu. Концентрация элементов Ca, Ba, Br, Cr в фускум-торфах близка к торфам комплексного вида.

Содержание химических элементов в различных видах торфов низинного типа представлено в табл. 3. Рассматриваемые виды торфов не имеют статистических различий по средним концентрациям Br и Hf. Близкими концентрациями Cr, Sc, Th, Eu характеризуются древесно-осоковый, осоковый и осоково-гипновый виды. Особо выделяются торфа древесного вида, как наиболее обогащенные Ca, Fe, Sr, Sc, La, Th, Eu. Для торфов древесно-осокового вида характерно максимальное содержание U, для осоково-гипнового — Br и Co. Осоковые торфа среди четырех рассматриваемых видов характеризуются самым низким содержанием химических элементов.

Таблица 3

Содержание элементов в торфах низинного типа, мг/кг сухого вещества

Элемент	Вид торфа			
	древесный ($n = 23$)	древесно-осоковый ($n = 20$)	осоковый ($n = 15$)	осоково-гипновый ($n = 17$)
Ca*	$2,06 \pm 1,44$	$1,69 \pm 0,27$	$0,78 \pm 0,21$	$1,8 \pm 1,0$
	0,48 – 7,30	1,30 – 2,40	0,46 – 1,20	0,39 – 5,0
Sc	$1,51 \pm 0,74$	$0,73 \pm 0,19$	$0,68 \pm 0,14$	$0,83 \pm 0,29$
	0,47 – 3,60	0,47 – 1,40	0,50 – 1,0	0,47 – 1,70
Cr	$7,20 \pm 3,74$	$5,21 \pm 6,34$	$5,93 \pm 2,97$	$4,52 \pm 2,73$
	0,71 – 13,30	1,40 – 29,30	2,60 – 12,0	0,71 – 10,70
Fe*	$2,40 \pm 0,60$	$2,01 \pm 0,42$	$2,38 \pm 0,53$	$2,14 \pm 0,48$
	1,30 – 3,80	1,20 – 3,00	1,8 – 4,0	1,40 – 3,70
Co	$5,79 \pm 1,60$	$4,12 \pm 1,06$	$3,28 \pm 1,19$	$5,76 \pm 2,0$
	3,30 – 9,60	2,70 – 6,70	1,80 – 5,80	2,70 – 9,70
Br	$32,86 \pm 19,12$	$29,28 \pm 5,73$	$32,55 \pm 5,17$	$43,51 \pm 9,06$
	11,0 – 81,30	17,60 – 42,10	23,0 – 43,30	27,80 – 61,80
Sr	$339,4 \pm 90,6$	$281,5 \pm 78,5$	$197,5 \pm 21,4$	$268,8 \pm 75,4$
	230,0 – 570,0	190,0 – 430,0	160,0 – 230,0	120,0 – 390,0
Ba	$205,4 \pm 75,7$	$195,0 \pm 111,5$	$180,0 \pm 58,8$	$155,6 \pm 12,9$
	100,0 – 348,0	70,0 – 480,0	110,0 – 250,0	140,0 – 170,0
Hf	$0,36 \pm 0,10$	$0,24 \pm 0,06$	$0,34 \pm 0,12$	$0,20 \pm 0,10$
	0,19 – 0,54	0,17 – 0,38	0,20 – 0,48	0,10 – 0,54
La	$2,39 \pm 1,17$	$1,47 \pm 0,35$	$1,16 \pm 0,21$	$1,09 \pm 0,34$
	1,10 – 5,60	1,0 – 2,40	0,90 – 1,60	0,69 – 2,20
Ce	$6,03 \pm 3,29$	$4,78 \pm 1,91$	$2,66 \pm 0,60$	$4,41 \pm 1,86$
	1,30 – 13,40	1,0 – 9,20	1,80 – 3,40	2,10 – 8,40
Sm	$0,52 \pm 0,27$	$0,61 \pm 0,25$	$0,19 \pm 0,06$	$0,31 \pm 0,17$
	0,19 – 1,50	0,31 – 1,20	0,09 – 0,29	0,14 – 0,71
Eu	$0,23 \pm 0,15$	$0,09 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,03$
	0,10 – 0,84	0,05 – 0,15	0,07 – 0,11	0,06 – 0,21
Th	$0,80 \pm 0,34$	$0,41 \pm 0,05$	$0,38 \pm 0,07$	$0,45 \pm 0,17$
	0,34 – 1,60	0,31 – 0,54	0,31 – 0,53	0,24 – 0,93
U	$2,21 \pm 1,13$	$2,89 \pm 1,93$	Не обн.	$1,66 \pm 0,60$
	0,40 – 4,0	0,62 – 7,40		0,91 – 2,40

Содержание химических элементов в верховых и низинных торфах ниже кларка почв мира, за исключением Вг, концентрация которого в торфах (особенно низинного типа) выше. Это объясняется принципиальными отличиями структуры и состава торфов, содержащих до 98 % органического вещества, от минеральных почв.

На основании расчетов кларков концентраций (КК) относительно кларков литосферы элементы можно разделить по интенсивности накопления на три группы, объединяемые по уровням концентрации. В верховых торфах к первой группе относится только Вг (КК > 1), концентрация которого выше, чем в литосфере. Вторую группу представляют элементы Sr и Ba, КК которых составляют десятые доли и не превышают 0,7. Третью группу формирует широкий набор элементов, КК которых в торфах относительно литосферы отличаются больше, чем на один порядок, и составляют сотые доли, не превышая 0,07. Таковы Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Hf, La, Ce, Sm, Eu, Th, U.

В низинных торфах также выделяется три группы элементов. В первую входит Вг, отличающийся экстремальной концентрацией. Ко второй группе относятся элементы со значениями КК до 0,9. Если в верховых торфах эту группу представляют только Ba и Sr, то в низинных к их числу добавляются Ca, Fe, Co, Hf, Eu и U. Третью группу формируют элементы со значениями КК не более 0,09: Sc, Cr, La, Ce, Sm, Th.

Таким образом, сравнение содержаний элементов в торфах с их концентрациями в почвах и литосфере в целом показывает, что для торфов характерен свой специфический набор накапливаемых элементов. Это обусловлено принадлежностью торфов к биогенным образованиям, находящимся в геохимической взаимосвязи с биокосными телами — почвами и косными — почвообразующими породами [24]. Следовательно, торфам как природным образованиям, в которых большая часть химических элементов прошла через живые организмы, присуща своя геохимическая специфика. Она отличает торфа не только от минеральных почв, литосферы, но и от органического субстрата на поверхности почв лесных экосистем региона [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлен региональный элементный химический состав торфов южнотаежной подзоны Западной Сибири. Показано, что биогеохимические особенности функционирования болотных экосистем верхового и низинного типов определяют разное накопление в них химических элементов. Ботанический состав торфов оказывает существенное влияние на содержание в них химических элементов. Для каждого рассматриваемого вида торфа характерен свой набор накапливаемых элементов. Так, среди рассматриваемых торфов верхового типа сфагново-мочажинные характеризуются максимальными концентрациями Ca, Sr, Ba, Cr, Hf, La, Sm; торфа комплексного вида накапливают Fe и Co, пушицево-сфагнового — Ce и Eu. Среди низинных торфов древесные отличаются наиболее широким спектром элементов (Ca, Fe, Sr, Sc, La, Th и Eu), концентрации которых максимальны. В древесно-осоковых торфах выявлена наиболее высокая концентрация U, в осоково-гипновых — Вг и Co. Древесно-осоковые, осоковые и осоково-гипновые торфа характеризуются близкими величинами концентраций Cr, Sc и Th. В исследуемых торфах выявлена тенденция к рассеянию химических элементов по сравнению с почвами и литосферой. Активно концентрируется в торфах только Вг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крештапова В. Н.** Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях европейской части России. — М.: Геолторфразведка, 1974. — 200 с.
2. **Добродеев О. П.** Особенности биогеохимии тяжелых металлов верховых болот // Природные и антропогенно измененные биогеохимические циклы: Труды Биогеохим. лаборатории. — М.: Наука, 1990. — Т. 21. — С. 53–61.
3. **Архипов В. С., Резчиков В. И., Смольянинов С. И., Мышова Т. С.** Микроэлементы в торфе месторождений Обь-Иртышского междуречья // Химия твердого топлива. — 1988. — № 9. — С. 25–27.
4. **Инишева Л. И., Бернатонис В. К., Цыбукова Т. Н.** Содержание микроэлементов в торфах Западно-Сибирского региона // Торфяная промышленность. — 1991. — № 1. — С. 19–25.
5. **Инишева Л. И., Цыбукова Т. Н.** Эколого-геохимическая оценка торфов юго-востока Западно-Сибирской равнины // География и природ. ресурсы. — 1999. — № 1. — С. 45–51.

6. **Московченко Д. В.** Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природ. ресурсы. — 2006. — № 1. — С. 63–70.
7. **Нечаева Е. Г.** Геохимические закономерности торфообразования на Западно-Сибирской равнине // География и природ. ресурсы. — 1992. — № 3. — С. 21–29.
8. **Архипов В. С., Бернатонис В. К., Резчиков В. И.** Распределение Fe, Co и Cr в торфяных залежах центральной части Западной Сибири // Почвоведение. — 2000. — № 12. — С. 1439–1447.
9. **Ефремова Т. Т., Ефремов С. П., Купеногий К. П. и др.** Биогеохимия Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, V, Mo, Ta, W, U в низинном торфе на междуречье Оби и Томи // Почвоведение. — 2003. — № 5. — С. 557–567.
10. **Архипов В. С., Бернатонис В. К., Резчиков В. И.** Распределение соединений железа в торфяных залежах центральной части Западной Сибири // Почвоведение. — 1994. — № 9. — С. 37–42.
11. **Инишева Л. И., Цыбукова Т. Н.** Распределение химических элементов в низинных торфах пойменного типа // Торф в сельском хозяйстве. — Томск, 1997. — Вып. 3. — С. 32–40.
12. **Болотные системы Западной Сибири и их природное значение / О. Л. Лисс, Л. И. Абрамова, Н. А. Аветов и др.** — Тула: Гриф и К°, 2001. — 584 с.
13. **Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
14. **Виноградов А. П.** Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. — 1962. — № 7. — С. 555–571.
15. **Езупенок Е. Э.** Содержание химических элементов в торфах южнотаежной подзоны Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Томск, 2005. — 20 с.
16. **Иванов В. В.** Экологическая геохимия элементов. Главные *p*-элементы: Справочник. В 6 кн. — М.: Недра, 1994. — Кн. 2. — 303 с.
17. **Сысо А. И.** Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Новосибирск, 2004. — 36 с.
18. **Нейштадт М. И.** Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. — М.: Наука, 1977. — 227 с.
19. **Ильин В. Б., Сысо А. И.** Почвенно-геохимические провинции в Обь-Иртышском междуречье: причины и следствия // Сиб. экол. журн. — 2001. — Т. 8, № 2. — С. 111–118.
20. **Рассказов Н. М., Солодовникова Р. С., Головина М. Р.** Микроэлементный состав торфов и торфяных вод Обского, Таганского и южной части Васюганского торфяных месторождений // Изв. Том. политехн. ин-та. — 1969. — Т. 178. — С. 84–91.
21. **Сысо А. И.** Закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири // Сиб. экол. журн. — 2004. — № 3. — С. 273–287.
22. **Инишева Л. И.** Торфяные почвы: их генезис и классификация // Почвоведение. — 2006. — № 7. — С. 781–786.
23. **Бахнов В. К.** Биогеохимические процессы болотообразовательного процесса. — Новосибирск: Наука, 1986. — 193 с.
24. **Глазовская М. А.** Биогенное накопление и возможное превращение химических элементов в почвах (факторы и гипотезы) // Почвоведение. — 1974. — № 6. — С. 3–15.

Поступила в редакцию 13 марта 2012 г.