

УДК 550.4:553.96/97

СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В ТОРФАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

С.И. Арбузов, В.С. Архипов, В.К. Бернатонис, В.А. Бобров*, С.Г. Маслов, А.М. Межибор, Ю.И. Прейс**, Л.П. Рихванов, А.Ф. Судыко, А.И. Сысо***

Томский политехнический университет

*Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

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

***Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: siarbuzov@mail.ru

Выполнен расчет среднего содержания 26 элементов-примесей в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты, основанный на обработке данных нейтронно-активационного анализа 1927 проб из 32 торфяных месторождений и отдельных участков Большого Васюганского болота. Показано, что торф Западно-Сибирской плиты отличается повышенным содержанием золота, брома и хрома. Отмечено возрастающее влияние антропогенного фактора на содержание элементов-примесей в торфах региона.

Ключевые слова:

Торф, Западно-Сибирская плита, геохимия, элементы-примеси, среднее содержание.

Введение

Торф издавна рассматривается как комплексное сырье для получения различных видов продукции. Помимо использования всей массы торфа (органические удобрения, торфяные брикеты, горшочки и др.), методом экстракции из него получают гуминовые кислоты, битумы, различные биологически активные вещества, нашедшие широкое применение в животноводстве и растениеводстве. Нередко торф используется для производства протеинового корма, кормовых дрожжей, сахаров и гидролизного спирта.

Вместе с тем, торф хорошо известен как один из наиболее активных сорбентов, способных накапливать в себе в определенных условиях значительные количества различных металлов, в том числе токсичных и радиоактивных. В ряде случаев их содержания достигают промышленно значимых величин. Известны, например, месторождения урана в торфах [1]. На Камчатке в районе источника Котел содержание германия в органической массе торфа достигает 220 г/т [2]. В Филиппи, самом мощном из известных в настоящее время торфяников (Греция), содержание в золе торфа достигает 200 г/т U, 300 г/т Mo, 150 г/т Pb, 450 г/т As [3]. В зо-

нах воздействия промышленных предприятий за счет техногенных выбросов могут накапливаться в значительных количествах Pb, Zn, Co, Cu, Cd и других экологически опасные элементы. Известны аномалии плутония и ¹³⁷Cs в зоне влияния ядерного производства [4, 5].

Очевидно, что использование такого торфа должно предваряться его комплексным геохимическим исследованием. Комплексные исследования должны проводиться на каждом вводимом в эксплуатацию торфяном месторождении. Для корректной интерпретации полученных результатов необходимы сведения о среднем содержании элементов-примесей в торфах региона и о глобальном торфяном кларке. Попытки сделать такие оценки предпринимались неоднократно, но из-за ограниченных аналитических возможностей и недостатка фактического материала эта задача не решена до настоящего времени. Наиболее достоверные данные, основанные на большом количестве аналитического материала, получены в 60–80 гг. прошлого столетия [6, 7]. Основной недостаток этих оценок — это использование приближенно-количественного эмиссионного спектрального анализа, не позволяющего достоверно оценить содер-

жание значительного количества элементов-примесей.

С целью частично восполнить этот пробел нами выполнен расчет среднего содержания элементов-примесей в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты, главным образом для территории Томской области. Ранее предпринимались попытки сделать такую оценку, но они основывались на изучении небольшого числа месторождений.

Методика исследований

В данной работе для расчетов привлечены данные по 32 участкам, выделяемым как самостоятельные торфяные месторождения или как части Большого Васюганского болота (рисунк).

Отбор проб производился с помощью торфяного бура по сечениям с интервалом опробования от 2 до 50 см. На каждом исследуемом месторождении или участке торфяной залежи было опробовано от 2 до 25 сечений. Всего для расчетов использовано более 1927 проб торфа, исследованных авторами в разные годы.

Все пробы изучены методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) (аналитики А.Ф. Судыко, В.И. Резчиков, В.А. Бобров). Этот метод обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами при анализе проб, содержащих значительное количество органического вещества (уголь, торф). Отсутствие химической и термической обработки проб в процессе пробоподготовки исключает погрешность определения содержания за счет привноса или удаления элемента вместе с реактивами или с продуктами горения. Облучение проб выполнено в канале исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т НИИ ядерной физики при ТПУ (г. Томск). Плотность потока тепловых нейтронов в канале облучения составляла $2 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, продолжительность облучения – 20 ч. Измерение проводилось на многоканальных анализаторах импульсов с полупроводниковыми Ge-Li детекторами. Изучено содержание 26 элементов-примесей в сухой массе торфа и одновременно для части проб выполнено определение их содержания в золе торфа. Пересчеты содержания в золе на торф и обратно показали хорошую сходимость результатов при общей тенденции потерь отдельных элементов в процессе озоления. Достоверность полученного аналитического материала подтверждается результатами интеркалибровок метода ИНАА по многочисленным стандартным образцам сравнения (ZUK – зола угля, SD – морские осадки, БИЛ – донные отложения оз. Байкал, BCR – базальты и др.).

За редким исключением, расчет среднего производился по результатам прямого измерения содержания химического элемента в торфе. В тех случаях, когда содержание элемента в торфе ниже пре-

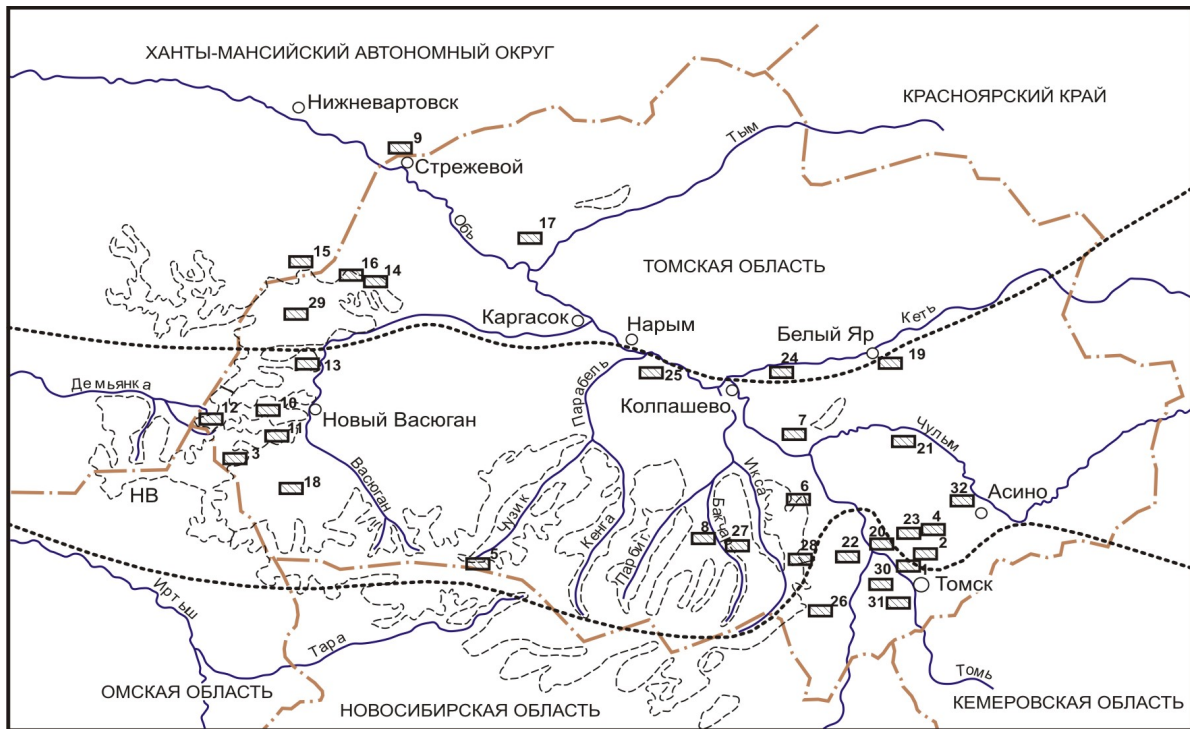
дела определения анализа, использовался расчетный метод. Сначала определялось содержание элемента в золе, а затем данные пересчитывались на торф. В этом случае возможно занижение результатов для отдельных химических элементов в связи с потерей их с газовой фазой в процессе озоления торфа.

При оценке среднего содержания элементов-примесей в торфах в основу положены рекомендации, изложенные в монографии Ю.А. Ткачева и Я.Э. Юдовича [8] и в более поздних работах этих авторов. Расчеты выполнены по методу последовательного усреднения данных от частных проб через среднее для участков опробования, торфяных месторождений к среднему для региона в целом.

Таблица. Среднее содержание элементов-примесей в торфах и золах торфов юго-восточной части Западно-Сибирской плиты

Элементы	Низинный торф		Верховой торф		Среднее для региона	
	Сухое вещество	Зола торфа*	Сухое вещество	Зола торфа*	Сухое вещество	Зола торфа*
Na	0,066	0,49	0,037	1,2	0,049±0,011	0,67
Ca	2,7	20,5	0,57	17,9	1,4±0,18	19,8
Sc	1,4	10,3	0,56	17,6	0,88±0,17	12,2
Cr	13,6	102	11,6	366	12,4±2,8	171
Fe	1,7	12,6	0,43	13,4	0,93±0,13	12,8
Co	3,5	26,4	1,5	45,7	2,3±0,2	31
Br	61,0	457	17,7	558	35,0±2,6	483
As	<0,3	–	<0,3	–	<0,3	–
Rb	7,8	58	1,7	54,9	4,1±1,4	57
Sr	120	895	42	1318	73,0±7,2	1006
Ag	0,10	0,78	0,028	0,89	0,058±0,02	0,8
Sb	0,14	1,1	0,11	3,5	0,12±0,03	1,7
Cs	0,44	3,3	0,14	4,4	0,26±0,06	3,6
Ba	106	796	37,7	1188	65,2±11,0	899
La	5,0	37,3	1,6	52	3,0±0,6	41,2
Ce	8,8	66	3,8	120	5,8±0,9	79,8
Sm	0,96	7,20	0,40	12,5	0,62±0,1	8,6
Eu	0,19	1,39	0,08	2,7	0,12±0,02	1,7
Tb	0,15	1,14	0,040	1,3	0,085±0,01	1,2
Yb	0,33	2,44	0,12	3,8	0,20±0,03	2,8
Lu	0,05	0,39	0,019	0,60	0,032±0,005	0,45
Hf	0,40	3,02	0,17	5,4	0,26±0,07	3,6
Ta	0,094	0,70	0,015	0,46	0,046±0,01	0,64
Au	0,017	0,13	0,019	0,61	0,018±0,003	0,25
Th	0,87	6,5	0,45	14,0	0,62±0,1	8,5
U	0,46	3,4	0,31	9,7	0,37±0,08	5,1
A ^g	13,4	100	3,2	100	7,3±0,9	100
Количество проб	702	702	1225	1225	1927	1927

Примечание: – нет данных; * – пересчитано на золу. Содержание элементов дано в г/т, A^g и содержание Na, Fe и Ca даны в мас. %



Условные обозначения

- — границы административных областей
- границы южнотаежной болотной зоны
- границы Васюганской болотной системы
- ☐ 21 месторождение торфа (участок опробования) и его номер

Рисунок. Схема размещения участков опробования торфяных месторождений: 1) Песочкинское; 2) Петропавловский Рям; 3) Западно-Моисеевское; 4) Пуховское; 5) Малая Мча; 6) Васюганское, участок 6; 7) Семиозерье; 8) Суховское; 9) Саим; 10) долина р. Егольях, 11) долина р. Ягыльях; 12) Васюганское, участок 7, р. Демьянка; 13) Залесное, р. Кельват-Лонтынях; 14) Васюганское, участок 1; 15) оз. Круглое; 16) Васюганское, участок 3; 17) Жарково; 18) Вилкинское; 19) Полуденновское; 20) Клюквенное; 21) Березовая грива; 22) Гусевское; 23) Чистое; 24) Колпашевское; 25) Айгарово; 26) Аркадьёво; 27) Бакчарское; 28) Иксинское; 29) Сосново-Махнинское; 30) Водораздельное; 31) Кирсановское; 32) Иш-коль

Расчет среднего содержания элементов-примесей в пределах отдельных месторождений или их участков производился как расчет средневзвешенной величины по мощности интервалов опробования торфяной залежи. В качестве контроля результат сопоставлялся с медианой и модой. Среднее по типам залежей (верховые, низинные) оценивалось с учетом закона распределения как среднее арифметическое. Среднее для региона рассчитывалось исходя из распространенности верховых, переходных и низинных торфов на территории Томской области [9].

При расчетах средневзвешенного содержания принято следующее соотношение генетических типов торфяных залежей: низинные и переходные – 40 %; верховые и смешанные – 60 %.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты оценки среднего содержания представлены в таблице. Анализ полученных результатов позволяет отметить, что по основному спектру изученных химических элементов торф юго-вос-

точной части Западно-Сибирской плиты близок к торфам других регионов России.

Не нашел подтверждения полученный ранее вывод об обогащении верховых торфов Западной Сибири по сравнению с другими регионами кобальтом [10]. Его средние содержания ниже средних оценок для территории СССР [6, 7].

Получил подтверждение установленный ранее факт повышенного содержания хрома [11]. При этом высокие уровни накопления хрома установлены как в низинных, так и в верховых торфах. Природа его накопления требует специального исследования. Ранее было высказано предположение, что обогащение торфа хромом обусловлено заимствованием его из подстилающих грунтов [12]. В качестве обоснования этого вывода приведены данные, свидетельствующие о низком содержании хрома в месторождении Айгарово, залегающем на карбонатных грунтах, и существенно более высокие его концентрации в месторождениях Гусевское, Клюквенное, Семиозерье и Колпашевское,

залегающих на обогащенных хромом терригенных осадках.

Выявлено высокое среднее содержание золота в торфах региона, в 3 раза превышающее кларк для осадочных пород [13]. В пересчете на золу среднее содержание золота приближается к возможно промышленно значимым концентрациям. Эти данные подтверждаются находками в регионе аномалий золота в торфах и углях [14]. Наряду с золотом отмечено и несколько повышенное среднее содержание серебра. Исследования новосибирских специалистов [15] показали, что торфяные месторождения в предгорной части Западно-Сибирской плиты почти повсеместно обогащены золотом. Эти факты согласуются с общей геохимической спецификой обрамления [16]. По-видимому, повышенная золотоносность – характерная черта Западно-Сибирских торфов и углей. Она свидетельствует о высоком благороднометалльном потенциале структур обрамления этого бассейна осадконакопления.

Установлено высокое содержание брома в торфах. В пересчете на золу оно превосходит кларк для осадочных пород на порядок. Вероятно, это связано со спецификой подстилающих отложений, большой долей в их составе захороненных морских осадков. При этом следует учитывать, что реальные золы существенно обеднены бромом по сравнению с расчетными данными в связи с потерей его при озолении. На влияние морских нефтегазоносных отложений, возможно, указывают и повышенные уровни накопления стронция.

При общем низком содержании природных радиоактивных элементов (U, Th) в торфах, установлено избыточное накопление урана по отношению к торью. Торий-урановое отношение понижено и изменяется от 1,5 для верхового торфа до 1,9 для низинного, в среднем 1,7. Отмечены высокие уровни накопления урана в пересчете на золу

для верхового торфа. Эти данные подтверждаются результатами прямого определения содержания урана и тория в золах, полученных при лабораторном озолении торфа.

Следует отметить неравномерный характер распределения элементов – примесей в пределах месторождений не только по латерали, связанный с удаленностью от источника питания болотного массива терригенным материалом, но и в вертикальном профиле торфяных залежей, обусловленный природно-климатическими, гидрогеохимическими, антропогенными и другими факторами. В том числе наблюдается отчетливое обогащение большинством изученных элементов-примесей верхних интервалов залежей, характеризующих вторую половину XX в. – начало XXI вв. с выделением четких временных критериев накопления редких и радиоактивных элементов. Наиболее ярко эта особенность проявлена в верховых залежах, расположенных вблизи населенных пунктов в зоне влияния промышленных производств [17, 18], но имеет место и на участках, удаленных от них. Данное обстоятельство свидетельствует о ярко выраженном участии как локального, так и глобального антропогенного фактора в накоплении ряда элементов-примесей в торфах. Доля антропогенного накопления неорганических компонентов в торфах в течение последнего столетия постоянно возрастает и это уже сейчас сказывается на оценке среднего содержания элементов-примесей, а в конечном итоге может существенно изменить эти оценки. Примеры подобных изменений в настоящее время уже можно наблюдать на ряде европейских месторождений торфа [19]. Нами при детальном исследовании верховых болот достоверно установлено, что верхние 50 см вертикального разреза торфяника, соответствующие последнему столетию, обогащены всеми изученными элементами-примесями [18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочкин Г.Б. Радиоэкологические особенности ураноносных торфяников // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. Междунар. конф. – 24–26 мая 1996 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 101–104.
2. Костин Ю.П., Витовтова В.М., Шарова И.Г. Современное германиевое оруденение торфяников, образующихся в районах развития термальных вод // Металлогения осадочных и осадочно-метаморфических пород. Вып. 8. – М.: Наука, 1973. – С. 196–200.
3. Kalaitzidis S., Christanis K., Georgakopoulos A., Fernandes-Turiel J.L., Papazisimou S. Influence of Geological conditions during peat accumulation on trace element affinities and their behavior during peat Combustion // *Energie & Fuels*. – 2002. – V. 16. – P. 1476–1482.
4. Минеева Н.Я., Маркелов А.В., Дмитриев С.А. и др. Болота как биогеоценоотические барьеры радионуклидов // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. Матер. IV Междунар. научно-практ. конф. – 19–21 октября 2006 г. – Семипалатинск, 2006. – С. 393–396.
5. Gauthier-Lafaye F., Pourcelot L., Eikenberg J., Beer H., Le Roux G., Rikhvanov L.P., Stille P., Renaud Ph., Mezhibor A. Radioisotope contaminations from releases of the Tomsk-Seversk nuclear facility (Siberia, Russia) // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2007. – V. 98. – P. 301–314.
6. Сапрыкин Ф.Я., Свентиховская А.Н. Закономерности редкометалльного оруденения современных торфяников // Матер. к 9-му совещанию работников лабор. геол. организаций. Вып. 7. Углехимическая секция. – Л.: Недра, 1965. – С. 95–102.
7. Клер В.Р., Ненахова В.Ф., Сапрыкин Ф.Я. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланценосных толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
8. Ткачев Ю.А., Юдович Я.Э. Статистическая обработка геохимических данных. Методы и проблемы. – Л.: Наука, 1975. – 233 с.
9. Инишева Л.И., Архипов В.С., Маслов С.Г., Михантьева Л.С. Торфяные ресурсы Томской области и их использование. – Новосибирск: Изд-во СО РАСХН, 1995. – 88 с.

10. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. – 2006. – № 1. – С. 63–70.
11. Инишева Л.И., Бернатонис В.К., Цыбукова Т.Н. Содержание микроэлементов в торфе Западно-Сибирского региона // Торфяная промышленность. – 1991. – № 1. – С. 19–25.
12. Архипов В.С., Бернатонис В.К., Резчиков В.И. Распределение железа, кобальта и хрома в торфяных залежах центральной части Западной Сибири // Почвоведение. – 2000. – № 12. – С. 1439–1447.
13. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 785–792.
14. Arbuzov S.I., Rikhvanov L.P., Maslov S.G., Arhipov V.S., Belyaeva A.M. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform // Int. J. Coal Geol. – 2006. – V. 68. – № 3–4. – P. 127–134.
15. Матухина В.Г., Попова М.В., Малюшенко Л.Д. Процессы вторичного минералообразования в торфяных залежах на территориях, сопредельных с горным обрамлением // Отечественная геология. – 1996. – № 5. – С. 65.
16. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. – Томск: Изд. дом «Д-Принт», 2008. – 468 с.
17. Гавшин В.М., Сухоруков Ф.В., Будашкина В.В. и др. Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника // Геохимия. – 2003. – № 12. – С. 1337–1344.
18. Беляева А.М., Рихванов Л.П., Арбузов С.И. Исследования геохимического состава верхового торфа как метод мониторинга окружающей среды // Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-м тысячелетии: Матер. III Всеросс. конф. молодых ученых. – Томск, 2006. – С. 631–634.
19. Shotyk W., Cheburkin A.K., Appleby P.G. et al. Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony, and lead deposition recorded in an ombrotrophic peat bog profile, Jura Mountains, Switzerland // Earth and Planetary Science Letters. – 1996. – V. 145. – P. E1–E7.

Поступила 18.02.2009 г.