

Литература

1. Актаев М. Р. Характер загрязнения техногенными радионуклидами вод р. Шаган / Актаев М. Р., Айдарханов А. О., Лукашенко С. Н., Есимбеков А. Ж. // XII конф.-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов РГП НЯЦ РК, 15–17 мая 2013 г. – Курчатов: Институт атомной энергии.
2. Айдарханов А. О. Радиоактивное загрязнение вод реки Шаган (по результатам 2011-го года) / Айдарханов А. О., Лукашенко С. Н., Генова С. В., Ляхова О. Н., Айдарханова А. К. // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Выпуск 4. Том 1. Сборник трудов Национального Ядерного центра Республики Казахстан за 2011–2012 гг. / под рук. С. Н. Лукашенко. – Павлодар: ТОО «Дом печати», 2013. – С. 249–256.
3. Актаев М. Р. Мониторинг радиоактивного загрязнения вод р. Шаган / М. Р. Актаев, С. Н. Лукашенко, А. О. Айдарханов // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: тез. док. V Междунар. науч.-практическая конф., 12–14 сентября. – Павлодар: Дом печати, 2012. – С. 63–64. – ISBN 978-601-7112-63-9.
4. Заключительный технический отчет по проекту МНТЦ К-337 «Разработка основ и выбор технологий ликвидации поверхностного загрязнения и способов ограничения вторичного загрязнения территории Семипалатинского Испытательного Полигона», Институт ядерной физики Национального ядерного центра, Алматы, 2003.
5. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Выпуск 2. Сборник трудов Национального Ядерного центра Республики Казахстан за 2007–2009 гг. / под рук. С. Н. Лукашенко. – 12 с.
6. Ахметов М. А. Характеристика исходных данных радиационного состояния эпицентральной зоны объекта «Шаган»–экскавационного подземного ядерного взрыва для создания искусственного водохранилища / М. А. Ахметов, Е. М. Баядилов, С. Г. Смагулов, Г. С. Шуклин [и др.]. // Известия НАН РК. Сер. физико-математическая, 1994. – № 6.

РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (U, TH) В УГЛЯХ СЕВЕРНОЙ АЗИИ

С. И. Арбузов¹, С. С. Ильенок¹, И. Ю. Чекрыжов²

¹Томский политехнический университет
Томск, Россия, siarbuzov@mail.ru

²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
Владивосток, Россия, chekr2004@mail.ru

RADIOACTIVE ELEMENTS (U, TH) IN THE COALS OF NORTHERN ASIA

S. I. Arbuzov¹, S. S. Ilenok¹, I. Yu. Chekryzhov²

¹Tomsk Polytechnic University
Tomsk, Russia, siarbuzov@mail.ru

²Far East Geological Institute FEB RAS
Vladivostok, Russia, chekr2004@mail.ru

On the basis of unique author's data the characteristic of radiogeochemical features of coals of Northern Asia is given. Mean U and Th contents in the coals of separate deposits, basins and the whole region were assessed. The role of various factors in the accumulation of radioactive elements in the coals and peats was determined. The importance of various factors in the accumulation of U and Th in different periods of coal formation was estimated.

Являясь природным сорбентом и восстановителем, органическое вещество торфов и углей способно концентрировать многие металлы, в том числе и природные радионуклиды (U, Th и дочерние продукты их распада). В ряде случаев в углях формируются различные по масштабам месторождения урана. В начале «ядерной эры» ураноносные угли использовались в качестве промышленного сырья для извлечения урана. Однако в дальнейшем, в связи с выявлением более качественных сырьевых источников, интерес

к ним иссяк и в настоящее время ураноносные угли рассматриваются лишь как потенциально опасный источник радиоактивного загрязнения окружающей среды. Усиление в начале 21 века общественного и государственного контроля за состоянием окружающей среды привело к ужесточению требований к экологической безопасности топливной энергетики. Мировая теплоэнергетическая промышленность, работающая на угле, ориентируется на угли, имеющие низкие содержания радиоактивных элементов. Од-

нако в процессе сжигания даже таких углей происходит концентрирование радиоактивных элементов в отходах сжигания – в шлаках и золах уноса. Так как поступление радиоактивных элементов в природную среду при работе ТЭС зависят в первую очередь от их содержания в топливе, очевидно, что прогнозирование загрязнения окружающей среды радионуклидами возможно только на основе объективных знаний об их концентрациях, закономерностях распределения и условиях накопления в исходном топливе (угольных пластах). Несмотря на очевидность проблемы, радиогеохимические и радиоэкологические исследования к настоящему времени выполнены лишь на весьма ограниченном числе разрабатываемых угольных бассейнов и месторождений, главным образом в ЕС, России, США и Китае.

В настоящей работе представлены новые данные по геохимии урана и тория в углях и торфах Сибири, Российского Дальнего Востока, Казахстана и Монголии и сделана попытка обобщения обширного материала по радиогеохимии углей региона. Общее число изученных проб угля в регионе составляет 4520 шт., торфа – 2157 шт., всего 6677 проб.

Методика исследований

Опробование угольных пластов выполнялось бороздовым методом с дифференцированным отбором проб на угледобывающих предприятиях, в естественных обнажениях, а также по керну поисковых и разведочных скважин. Длина интервала опробования выбиралась в зависимости от мощности и сложности строения пласта и изменялась в среднем от 0,15 до 2,0 м. В отдельных сечениях выполнялась детализация разреза с интервалом отбора проб 0,5–10 см. Изменчивость содержания по латерали оценивалась на основании сети разрезов по пласту.

Определение радиоактивных элементов (U и Th) в большинстве проб выполнено несколькими физическими неинвазивными методами непосредственно в угле. Непосредственно на угольных разрезах выполнено γ -спектрометрическое измерение U, Th и K с помощью стандартной полевой аппаратуры. Лабораторное определение U и Th производилось в Ядерно-геохимической лаборатории Национального исследовательского Томского политехнического университета (аналитик А. Ф. Судыко). Использовали как традиционный метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) из навески 100–200 мг, так и метод запаздывающих нейтронов (МЗН) из навески 5–10 г. Предел обнаружения U и Th в углях методом ИНАА равен 0,1 г/т. Предел обнаружения U МЗН – 0,01 г/т. Параллельно для ограниченного количества проб содержание U и Th изучено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7700x (Agilent

Techn., США) в лаборатории аналитической химии Центра коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток) (аналитик Н. В. Зарубина).

Оценка среднего содержания U и Th в углях и торфах выполнялась путем последовательного усреднения данных. Средние содержания U и Th в угольных пластах рассчитывались как средневзвешенные по мощности интервалов опробования, в месторождениях – как средневзвешенные по мощности пластов [9].

Содержание урана и тория в углях

Среднее содержание U в изученных углях Северной Азии изменяется от 0,4–0,5 г/т (Карагандинский и Торгайский бассейны, месторождение Каражыра, Казахстан) до 32,8 г/т (месторождение Адун-Чулун, Монголия) (табл. 1). В торфах Западной Сибири и полуострова Камчатка содержится 0,4 г/т U. Среднее содержание U в регионе в угле равно 2,3 г/т, в золе угля – 13,2 г/т. Эти цифры близки к средней оценке содержания U в углях мира [12]. Отмеченные в некоторых месторождениях повышенные содержания U связаны, в основном, с эпигенетическими процессами и имеют локальный характер.

Средние содержания Th в углях изменяются от 0,6 г/т в современных торфяниках Западной Сибири и полуострова Камчатка, 0,8 г/т в юрских и меловых углях Тунгусского бассейна до 8,1 г/т в углях Ургальского месторождений Дальнего Востока. Средняя оценка содержания Th для углей региона составляет 3,3 г/т. Рассчитанное региональное среднее содержание Th равно угольному кларку, но в связи с несколько повышенной расчетной средней зольностью углей среднее содержание Th в золе угля ниже зольного кларка. Характерно типичное для углей пониженное торий-урановое отношение, обусловленное селективным накоплением урана органическим веществом угля. Для изученных месторождений Дальнего Востока России отмечено более высокое среднее содержание Th и более высокое торий-урановое отношение, чем для Сибири (табл. 1).

Проведенные исследования показали, что угли разного возраста отличаются по радиогеохимическим характеристикам.

Угли девонского возраста. Характерной особенностью этого этапа углеобразования является высокое содержание в углях радиоактивных элементов. Причем если содержание тория незначительно превышает угольный кларк и может быть обусловлено высокой зольностью углей, то содержание урана значительно выше кларка.

Угли карбон-пермского возраста. Угленосные отложения этого возраста прослежены от западной Монголии на юге до Таймыра на севере и от Карагандинского бассейна Казахстана на западе до Тунгусского бассейна на востоке. Отличительная особенность позднепалеозойского угленакпления -

Таблица 1. Содержание урана и тория в углях и золах углей Северной Азии

Угольный бассейн, месторождение	Число проб	A ^d , %	Содержание элементов, г/т				Th/U
			уголь		зола*		
			U	Th	U	Th	
1	2	3	4	5	6	7	8
Сибирский регион							
Угли девонского возраста							
Барзасское	14	32,5	3,2 ± 0,8	3,9 ± 0,4	9,8	12,0	1,2
Убруское	6	49,2	27,2 ± 1,0	3,1 ± 1,0	55,3	6,3	0,1
среднее	20	35,3	7,2 ± 0,8	3,8 ± 0,5	20,4	10,8	0,5
Угли карбон-пермского возраста							
Горловский	24	7,0	1,0 ± 0,1	1,9 ± 0,2	14,3	27,1	1,9
Кузнецкий	1582	13,5	2,4 ± 0,2	3,3 ± 0,2	17,8	24,4	1,4
Минусинский	595	16,9	2,4 ± 0,3	3,0 ± 0,2	14,1	17,9	1,3
Тунгусский	67	14,2	2,7 ± 0,6	3,3 ± 0,7	19,0	23,2	1,2
Таймырский	41	22,1	2,0 ± 0,2	3,7 ± 0,3	9,0	16,7	1,8
Курайское	12	25,2	1,1 ± 0,2	4,2 ± 0,7	4,4	16,7	3,8
среднее	2321	20,9	2,3 ± 0,3	3,1 ± 0,3	10,9	14,8	1,4
Угли мезозойского возраста							
Пыжинское	6	6,5	0,95 ± 0,3	0,9 ± 0,4	14,6	13,8	0,9
Канско-Ачинский	524	9,8	3,2 ± 0,7	1,0 ± 0,2	32,7	10,2	0,3
Иркутский	186	14,5	2,7 ± 0,5	4,1 ± 1,0	18,5	28,5	1,5
Улугхемский	45	9,3	1,2 ± 0,4	1,2 ± 0,2	12,9	12,9	1,0
Западно-Сибирский	172	10,6	1,2 ± 0,1	2,4 ± 0,2	11,3	22,6	2,0
Тунгусский	30	12,6	2,1 ± 0,5	0,8 ± 0,2	16,7	6,3	0,4
Кузнецкий	3	17,3	2,1 ± 1,0	2,2 ± 0,5	12,1	12,7	1,0
Олонь-Шибирское	41	15,2	1,1 ± 0,1	4,1 ± 0,4	7,2	27,0	3,7
Татауровское	32	11,6	1,0 ± 0,2	0,9 ± 0,3	8,6	7,8	0,9
Тарбагатайское	34	10,9	2,6 ± 0,8	1,4 ± 0,6	23,9	12,8	0,5
Зашуланское	18	7,4	1,0 ± 0,6	1,1 ± 0,8	13,5	14,9	1,1
Харанорское	41	10,0	2,9 ± 1,0	1,4 ± 0,4	29	14	0,5
Загустайское	13	17,2	2,9 ± 0,6	5,3 ± 1,5	16,9	30,8	1,8
Буртуйское	18	9,5	2,5 ± 0,4	3,0 ± 0,5	26,3	31,6	1,2
Окино-Ключевское	8	17,9	1,1 ± 0,5	2,3 ± 0,4	6,1	12,8	2,1
Уртуйское	8	7,9	1,4 ± 0,2	1,5 ± 0,3	17,7	19,0	1,1
Апсатское	5	12,3	0,8 ± 0,1	2,5 ± 0,4	6,5	20,3	3,1
Среднее	1183	11,8	1,8 ± 0,2	2,1 ± 0,3	15,3	18,0	1,2
Угли палеогенового возраста							
Западно-Сибирский	73	30,7	4,6 ± 0,4	3,5 ± 0,2	15,0	11,4	0,8
Талду-Дюргунское	29	19,8	1,7 ± 0,7	1,1 ± 0,1	8,6	5,6	0,6
Среднее	102	30,7	4,6 ± 0,4	3,5 ± 0,2	15,0	11,4	0,8
Торф							
Западно-Сибирский	1958	7,3	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,1	5,1	8,5	1,7
Сибирская платформа	21	Н.д.	5,2 ± 1,0	7,1 ± 1,8			
Среднее для Сибири	5605	15,2	2,0 ± 0,2	2,4 ± 0,2	13,0	15,5	1,2

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8
Российский Дальний Восток							
Угли позднеюрского – раннемелового возраста							
Ерковецкое	23	14,2	1,0 ± 0,4	3,6 ± 1,5	7,0	25,4	3,6
Райчихинское	19	13,6	1,5 ± 0,5	3,8 ± 1,8	11,0	27,9	2,5
Эльгинское	47	18,4	1,2 ± 0,1	3,7 ± 0,4	6,7	25,5	3,8
Ургальское	57	24,1	2,9 ± 0,3	8,1 ± 0,6	12,0	33,6	2,8
Липовецкое	4	39,5	2,1 ± 0,2	7,0 ± 0,8	5,3	17,7	3,3
Среднее	150	22,0	1,7 ± 0,3	5,2 ± 1,0	7,9	23,9	3,0
Угли палеоген-неогенового возраста							
Шкотовское	7	16,2	1,2 ± 0,3	2,7 ± 0,7	7,4	10,6	2,3
Павловское	51	15,3	3,7 ± 1,3	5,4 ± 1,6	24,1	34,9	1,4
Бикинское	16	17,4	1,3 ± 0,4	3,8 ± 0,9	7,6	22,0	2,9
Ушумунское	9	10,1	1,0 ± 0,2	2,4 ± 0,8	10,3	23,6	2,3
Яно-Омолойский	16	33,0	2,0 ± 0,4	3,2 ± 0,6	6,0	9,8	1,6
Сахалинский	148	14,2	0,7 ± 0,1	2,3 ± 0,3	5,0	15,7	3,1
Возновское	6	21,1	2,3 ± 0,6	5,4 ± 1,3	10,9	25,6	2,3
Сергеевское	7	15,8	1,2 ± 0,2	3,7 ± 0,9	7,6	23,4	3,0
Среднее	260	17,8	1,7 ± 0,4	3,6 ± 0,3	9,7	20,1	2,1
Торф							
Полуостров Камчатка	178	19,2	0,45 ± 0,05	0,64 ± 0,05	2,3	3,3	1,4
Среднее для Даль- него Востока	588	19,4	1,7 ± 0,2	4,2 ± 0,5	8,8	21,7	2,4
Казахстан							
Угли карбонового возраста							
Карагандинский	3	9,8	0,4 ± 0,1	1,1 ± 0,3	4,1	11,5	2,8
Экибастуз	41	36,1	1,1 ± 0,1	3,1 ± 0,3	3,0	8,6	2,8
Среднее	44	23,0	0,8 ± 0,1	2,0 ± 0,2	3,4	9,2	2,5
Угли юрского возраста							
Каражыра	7	11,7	0,5 ± 0,2	1,0 ± 0,2	4,3	8,5	2,0
Майкубенский	10	25,5	5,0 ± 2,2	3,6 ± 0,7	19,6	14,1	0,7
Торгайский	8	18,3	0,5 ± 0,1	0,75 ± 0,2	2,9	4,1	1,5
Шубарколь	69	6,1	1,3 ± 0,2	2,3 ± 0,4	21,8	38,0	1,7
Среднее	94	14,4	2,2 ± 0,9	2,2 ± 0,4	15,3	15,3	1,0
Монголия							
Угли карбонового возраста							
Нурс-Хотгор	122	18,2	2,1 ± 0,3	4,0 ± 0,4	11,6	22,0	1,9
Хаар-Тарвагатай	10	18,7	1,0 ± 0,1	2,7 ± 0,3	6,0	14,3	2,6
Хундлун	8	9,4	1,0 ± 0,1	2,6 ± 0,5	10,3	27,5	2,6
Зээгт	10	12,5	1,3 ± 0,4	2,1 ± 0,3	10,4	16,8	1,6
Среднее	150	14,7	1,4 ± 0,3	3,1 ± 0,6	9,5	21,1	2,2

Окончание таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8
Угли пермского возраста							
Таван-Толгой	11	9,8	2,6 ± 0,9	2,0 ± 0,3	26,5	20,4	0,8
Увур-Чулут	5	16,7	11,0 ± 2,0	4,9 ± 1,5	65,9	29,3	0,4
Маньт	16	20,2	3,3 ± 0,5	4,9 ± 0,5	16,3	24,3	1,5
Хуренгол	29	39,1	2,0 ± 0,2	6,3 ± 0,5	5,1	16,1	3,2
Среднее	61	21,5	2,6 ± 0,4	4,5 ± 0,9	12,1	21,1	1,7
Угли юрского возраста							
Сайхан-Ово	6	9,7	3,7 ± 1,3	2,2 ± 0,4	38,1	22,7	0,6
Могойн-Гол	15	20,8	21,8 ± 4,0	5,9 ± 1,7	105	28,4	0,3
Баянтэг	8	14,8	9,1 ± 3,6	7,2 ± 0,9	61,5	48,6	0,8
Шарынгол	29	12,2	2,1 ± 0,2	5,2 ± 0,4	17,2	42,6	2,5
Среднее	58	14,4	5,0 ± 2,1	5,1 ± 1,1	34,6	35,7	1,0
Угли раннемелового возраста							
Алаг-Того	10	28,6	3,0 ± 1,1	4,6 ± 0,7	10,5	16,1	1,5
Адун-Чулун	10	11,1	32,8 ± 5,5	1,0 ± 0,1	296	9,0	0,03
Баганур	4	8,4	3,7	1,6	44,0	19,0	0,4
Тугрикнуурское	7	13,3	0,7 ± 0,1	1,5 ± 0,2	5,3	11,3	2,1
Шиве Овоо	28	16,4	2,9 ± 0,5	4,2 ± 1,0			1,4
Увур-Чулуут	5	16,7	11,1 ± 2,0	4,9 ± 1,5	66,4	29,1	0,4
Чандгатал	12	14,3	5,3 ± 2,7	0,82 ± 0,3	37,2	5,8	0,2
Среднее	76	15,0	10,1 ± 7,6	2,2 ± 0,8	103	22,3	0,2
Среднее для Северной Азии	6677	17,5	2,3 ± 0,2	3,3 ± 0,2	13,2	18,9	1,4
Кларк для углей**	8400		2,4	3,3	16	21	1,4

Примечание: * – пересчитано на золу; ** – по [12].

широкое распространение в углях и углевмещающих породах продуктов вулканической деятельности, представленных измененными пепловыми туфами-тонштейнами и рассеянным пирокластическим материалом [4]. Особенно отчетливо роль пеплопадов сказывается на геохимическом фоне Th [11]. Этим, вероятно, объясняется относительно выдержанное его содержание в позднепалеозойских углях на всей территории Сибири и Монголии, несмотря на большое разнообразие состава областей питания угольных бассейнов и месторождений. Только наиболее западные месторождения, расположенные на территории Казахстана, отличаются низкими содержаниями U и Th. В целом же пепловый материал доминирует в балансе Th в углях этого этапа угленакопления. Анализ опубликованных мировых данных позволяет заключить, что большое влияние вулканогенного вещества на формирование радиогеохимического фона позднепалеозойских углей является планетарной особенностью.

Угли мезозойского возраста. Мезозойский этап представлен несколькими возрастными уровнями

угленакопления: триасовым, ранне-среднеюрским, позднеюрским и меловым. По масштабам проявления и ресурсам углей в регионе он превосходит позднепалеозойский этап угленакопления. Радиогеохимическая характеристика мезозойских углей в Сибирском регионе определяется, главным образом, особенностями состава пород областей питания районов угленакопления и ландшафтно-климатическими условиями формирования древних торфяников. Вулканизм, возможно имевший место в это время, не играл такой существенной роли в накоплении U и Th в мезозойских углях Сибири, как в углях палеозоя. Для углей Российского Дальнего Востока и Монголии, на территории которых проявление вулканической деятельности установлено от мезозоя до настоящего времени, роль пеплового материала существенно выше. В связи с этим, распределение U и Th в углях этих регионов достаточно неоднородно.

Среднее содержание U в мезозойских углях изменяется от 1,2 г/т в месторождении Эльгинское (Южно-Якутский бассейн) до 32,8 г/т в месторождении Адун-Чулун (Монголия). Значительный разброс

содержаний урана в углях характерен не только для отдельных месторождений, но и для отдельных частей месторождений или бассейнов.

В редких случаях в пластах устанавливаются сингенетические урановые аномалии. При этом в отличие от Сибири для Российского Дальнего Востока и Монголии в накоплении радиоактивных элементов в мезозойских углях существенную роль играет вулканогенное вещество. На это указывают не только прямые факты наблюдения вулканогенного материала в угольных пластах (Эльгинское, Ургальское, Возновское и др. месторождения), но и повышенное торий-урановое отношение, а также высокие концентрации Th в золах углей отдельных месторождений, значительно превосходящие его содержания в углеводородных породах.

Угли и торф кайнозойского возраста. Кайнозойский этап угле- и торфонакопления проявлен на исследуемой территории достаточно широко. Угли этого этапа отличаются низким качеством, высокой зольностью и крайне неоднородным распределением радиоактивных элементов. Содержание U и Th в изученных месторождениях изменяется в широких пределах: от 0,9 г/т в углях о.Сахалин до 3,9 г/т в углях Павловского месторождения Приморья. Месторождения, расположенные среди базитовых интрузивно-вулканогенных образований, как правило, бедны U и Th.

Вместе с тем, низкое торий-урановое отношение указывает на урановую геохимическую специализацию кайнозойской эпохи угленакопления в Сибири. С этим связано образование в палеогеновых углях значительных аномалий U, достигающих в отдельных случаях 300 г/т. С кайнозойским этапом связано обогащение U углей юрского и даже позднепалеозойского возраста. Особенно ярко эти процессы проявились в западной части Канско-Ачинского угольного бассейна (Итатское, Назаровское, Березовское, Козульское месторождения), в месторождениях Минголии и Забайкалья.

Радиогеохимические характеристики углей кайнозоя Российского Дальнего Востока отличаются от сибирских. Влияние вулканогенно-гидротермальных процессов на формирование современного радиогеохимического облика углей Дальнего Востока обуславливает крайне неравномерный характер распределения в них U и Th. Наряду с низкорадиоактивными углями о. Сахалин здесь установлены и аномальные по содержанию U и Th угли. В отличие от палеогеновых углей Сибири, кайнозойские угли Дальнего Востока характеризуются в целом высоким торий-урановым отношением, что указывает на преимущественно сингенетичный кластогенный механизм поступления U и Th в угольный пласт. На этом фоне резко выделяются аномальные по содержанию урана германиеносные угли Приморья [8]. Они отличаются крайне неравномерным распределением U при довольно выдержанном содержании Th и име-

ют, по мнению авторов статьи [8], гидротермальную природу. Проведенные нами исследования U аномалий на Павловском месторождении указывают на гипергенную их природу.

Факторы, контролирующие накопление радиоактивных элементов в углях

Изученные угли Северной Азии характеризуются невысокими средними содержаниями U и Th, сопоставимыми с кларковыми содержаниями этих элементов в углях мира, но при этом неравномерным распределением. Выявлены угольные месторождения и бассейны, обогащенные и обедненные U и Th. В пределах бассейнов и месторождений повышенным содержанием радиоактивных элементов характеризуются отдельные угольные пласты или группы пластов. Причины таких различий кроются в разных условиях, существовавших на обширной территории угленакопления. Эти различия в определяются различными условиями их формирования, которые принято называть факторами накопления. К наиболее важным из них можно отнести ектонический фактор, фактор петрофонда, гидрогеохимический и фациальный факторы и фактор угольного метаморфизма.

Тектонический фактор

Геотектоническая обстановка наряду с климатическим фактором определяет скорость угленакопления, интенсивность процессов денудации в области сноса, характер и состав грунтовых и поверхностных вод. В целом для углей доминирующим фактором была поставка U и особенно Th с терригенной золой, поэтому при прочих равных условиях, более зольные угли содержат и больше U и Th. Роль терригенной золы в накоплении U и, особенно, Th отчетливо видна для всех регионов. Этот фактор повсеместно подтверждается наличием положительной корреляции между содержанием Th и зольностью. Для U в силу особенностей его геохимии, этот фактор выражен менее ярко, но также является значимым. Тектонический фактор накопления радиоактивных элементов в углях играет особенно существенную роль в сочетании с фактором петрофонда.

Фактор петрофонда

Под петрофондом за мы понимаем всю совокупность пород области питания бассейна угленакопления. Влияние состава пород области питания на формирование геохимического фона угольных бассейнов и месторождений может быть выражено в особенностях геохимической специализации углей и в закономерном изменении содержания элементов-примесей от краевых частей бассейна седиментации к центру. В настоящее время важная роль фактора петрофонда в накоплении элементов-примесей в углях

принимается как аксиома. Состав пород в обрамлении угленосных впадин, по-видимому, был главным фактором сингенетического накопления U и Th в углях.

Фактор петрофонда ярко проявлен для протяженного Канско-Ачинского бассейна. Многочисленные эпигенетические аномалии в углях бассейна отчетливо приурочены к блокам горных пород, насыщенным кислыми и щелочными эффузивами, гранитоидами, месторождениями и проявлениями урана. С этим связана приуроченность аномалий к Кузнецко-Алалтаусской зоне в западной части бассейна и к Ангаро-Канской глыбе на востоке.

Высокая ураноносность юрских и меловых углей Монголии тесно увязана с широким развитием в регионе радиогеохимически специализированных интрузивно-вулканогенных комплексов [6, 7].

Фактор синхронного вулканизма

Наличие вулканогенного материала в карбоновых и пермских угленосных отложениях Кузнецкого, Тунгусского и Минусинского бассейнов отмечено многими исследователями [1, 3, 4].

При формировании тонштейнов в результате болотного выветривания пеплового материала, освобожденные элементы-примеси (в том числе – U и Th) могли поглощаться прилежащими слоями торфа. Такой процесс был особенно эффективен, если исходная пирокластика имела кислый и щелочной состав, что можно наблюдать на примере угольных пластов Иркутского, Минусинского и Кузнецкого бассейнов, группы пластов Ургальского, Раковского и Возновского месторождений Дальнего Востока, сверхмощного пласта месторождения Нурс-Хотгор в Монголии и других.

Проведенные исследования показали, что фактор синхронного вулканизма проявился на всей территории Северной Азии. Для западных областей велика роль карбон-пермского вулканизма в накоплении U и Th в углях. К востоку отмечается омоложение пирокластики от юрского возраста для Прибайкалья, Забайкалья, Якутии и центральной Монголии до палеоген-неогенового и четвертичного для Приморья, Сахалина и северо-востока России

Гидрогеохимический фактор

Гидрогеохимические условия определяли характер водно-минерального питания палеоторфяников. Его роль хорошо видна при сопоставлении средних содержаний U и Th в современных верховых и низинных торфяниках. Верховые торфяники, водно-минеральное питание которых осуществляется, в основном, за счет атмосферных выпадений, существенно беднее радиоактивными элементами, чем низинные.

Фактор угольного метаморфизма

Пока нет убедительных фактов, надежно доказывающих вынос или привнос радиоактивных элементов при метаморфизме угля. Тем не менее, ориентируясь на оценки кларков U в бурых и каменных углях [12], а также сопоставляя содержание U и Th в каменных углях и антрацитах конкретных бассейнов [2], можно предположить, что процессы угольного метаморфизма ведут к потере органическим веществом угля радиоактивных элементов.

Сопоставление различных данных по содержанию U и Th в углях разных стадий углефикации показывает, что из углей даже при сравнении крайних членов изученного метаморфического ряда выносятся не более 50 % урана [11]. Торий при угольном метаморфизме явных тенденций к выносу не обнаруживает. Это подтверждается, в частности, и ростом торий-уранового отношения от бурых к каменным углям (табл. 1).

Гипергенное окисление углей

Гипергенное окисление углей часто обуславливает накопление в них U. Высокая сорбционная способность органического вещества угля по отношению к U обеспечивает его концентрирование из грунтовых вод даже с рядовым содержанием металла. Особенно благоприятны для этого процесса условия семиаридного климата с повышенным содержанием в воде урана и кислорода. В результате в зоне окисления формируются ореолы обогащения U. Размеры этих зон накопления, как правило, невелики по сравнению с масштабами угольных бассейнов и не способны существенно повлиять на оценку геохимического фона угленосных отложений. Однако в пределах отдельных месторождений это влияние может быть значительно. Так, повышенное содержание U в месторождениях Адун-Чулун, Баянтег, Могойн-Гол (Монголия) обусловлено именно эпигенетическим его накоплением вплоть до промышленно значимых концентраций. Существенно обогащены им окисленные угли отдельных месторождений Дальнего Востока и Сибири. В Канско-Ачинском бассейне 5% ресурсов угля составляют окисленные угли, содержащие в отдельных случаях до 0,2 % U [5]. Обычно обогащается ураном верхняя часть пласта. Максимум содержания приурочен к фронту зоны окисления. При этом вся зона окисления характеризуется аномальным его содержанием. Этот факт указывает на сопоставимую роль сорбционного и окислительно-восстановительного геохимических барьеров в накоплении урана в окисленных углях.

Выводы

Угли Северной Азии в целом характеризуются низкими уровнями накопления урана и тория. Среднее содержание урана и тория в них соответствует угольному кларку.

Распределение U и Th в угольных бассейнах неравномерно и определяется совокупным влиянием целого ряда факторов: неоднородностью состава пород складчатого обрамления бассейнов, разницей фациальных условий угленакопления, влиянием вулканизма, климатических обстановок угленакопления и степени метаморфизма углей.

Повышенные концентрации U и Th в углях тяготеют к обогащенным U и Th блокам пород в обрамлении бассейна, либо связаны с проявлением вулканизма в период угленакопления. Сочетание условий, характеризующихся наличием в обрамлении угленосной структуры радиогеохимически специализированных комплексов, подвергавшихся выветриванию в гумидном климате, с вулканической активностью в период угленакопления, обуслови-

ло формирование геохимических аномалий U и Th в отдельных угольных пластах и месторождениях региона.

Аномальные содержания U в основном, имеют эпигенетическую природу и связаны с поступлением в угольный пласт кислородных ураноносных вод. Они обуславливают окисление угля и накопление в нем высоких концентраций урана. Для этих условий наиболее благоприятны районы с повышенным радиогеохимическим фоном и умеренно аридным климатом. В этих условиях формируются обогащенные ураном кислородные воды, благоприятствующие накоплению аномальных концентраций U на органическом веществе.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-17-00004).

Литература

1. Адмакин Л. А. Типы тонштейнов в угольных пластах Минусинского бассейна // Литология и полезные ископаемые, 1992. – № 2. – С. 49–56.
2. Арбузов С. И., Ершов В. В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. – Томск: Изд. дом «Д-Принт», 2007. – 468 с.
3. Ван А. В. Роль пирокластического материала в угленосных отложениях Кузнецкого бассейна // Советская геология, 1968. – № 4. – С. 129–137.
4. Ван А. В. Вулканогенный пепел в угленосных отложениях верхнего палеозоя Средней Сибири // Литология и полезные ископаемые, 1972. – № 1. – С. 40–51.
5. Гаврилин К. В., Озерский А. Ю. Канско-Ачинский угольный бассейн. – М.: Недра, 1996, – 272 с.
6. Машенькин В. С., Арбузов С. И., Судыко А. Ф. Радиогеохимическая характеристика углей Монголии // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы III Международной конференции, г. Томск, 23–27 июня 2009 г. – Томск: STT, 2009. – С. 345–348.
7. Миронов Ю. Б. Уран Монголии. Второе издание. – Спб.: изд-во ООО «Анатолия», 2006. – 328 с.
8. Середин В. В., Данильчева Ю. А., Магазина Л. О., Широва И. Г. Германиеносные угли Лузановского грабена (Павловское бурогольное месторождение, Южное Приморье) // Литология и полезные ископаемые, 2006. – № 2. – С. 1–24.
9. Ткачев Ю. А., Юдович Я. Э. Статистическая обработка геохимических данных. Методы и проблемы. – Л.: Наука, 1975. – 233 с.
10. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Неорганическое вещество углей. – Екатеринбург: НИСО УрО РАН, 2002. – 420 с.
11. Arbuzov S. I., Volostnov A. V., Rikhvanov L. P., Mezhibor A. M., Ilenok S. S. Geochemistry of radioactive elements (U, Th) in coal and peat of northern Asia (Siberia, Russian Far East, Kazakhstan, and Mongolia) // Int. J. Coal Geol., 2011. – Vol. 86. – P. 318–328.
12. Ketris M. P., Yudovich Ya. E. Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals // Int. J. Coal. Geol., 2009. – Vol. 78. – № 2. – P. 135–148.