

ствия среди населения территорий, прилегающих к СИАП, разработке методов диагностики индуцированных радиацией заболеваний, профилактике и реабилитации пострадавшего населения.

02.08.2012 г. Министерством здравоохранения издан приказ № 522 "О персональном учете лиц, пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне..." с целью их регистрации по всему

Казахстану, но в то же время исполнение приказа не выполняется большинством Управлений здравоохранения. Что не дает полной картины по лицам, подвергшимся радиационному воздействию.

В настоящее время в Государственном научном автоматизированном медицинском регистре на февраль 2015 г. зарегистрировано более 360000 чел., что не соответствует реальной цифре пострадавших лиц.

РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КАУСТОБИОЛИТАХ СЕВЕРНОЙ АЗИИ

С.И. Арбузов, В.С. Машенькин

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

RADIOACTIVE ELEMENTS IN CAUSTOBIOLITES OF NORTHERN ASIA

S.I. Arbuzov, V.S. Mashenkin

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The geochemistry of radioactive elements in coals of northern Asia have been studied. By quantitative methods as the instrumental neutron-activation analysis, method of delayed neutrons and X-ray-fluorescent analysis more than 6000 coal and peat samples have been investigated. The average content of uranium in the coals of deposits and basins of the region is ranging from 0.4 to 32.8 ppm and for thorium – from 0.8 to 32.0 ppm. Within the bounds of basins, deposits and separate coal layers a lateral changing and a vertical one in the distribution of radioactive elements have been studied. The high concentrations of U and Th in coal deposits relate spatially to rock blocks within basin frames, which are enriched with elements, or are connected with a volcanism of a period of coal formation. A consistent changing of a role of pyroclastic material at the radioactive elements accumulation was determined in the direction from the West to the East.

В современном мире каустобиолиты – основа экономического развития государств. При всем многообразии каустобиолитов, ведущую роль играют нефть, газ и уголь. И хотя с точки зрения влияния на экологию очевидно преимущество нефтегазовой отрасли, уголь также занимает свою обширную нишу, являясь незаменимым сырьевым источником для ряда отраслей промышленности. Основным негативный фактор, связанный с потреблением угля в энергетике – это значительные поступления загрязняющих компонентов в окружающую среду. Как известно, содержание минеральных веществ в углях на 1–2 порядка превышает таковое в нефти и природном газе. При этом в составе минеральных веществ повсеместно присутствует ртуть, мышьяк и другие супертоксиканты, а также большая группа токсичных и потенциально токсичных элементов. Негативную роль играют и радиоактивные элементы. При низком среднем содержании урана и тория в углях [25], радиоактивные урановые аномалии повсеместно распространены в угольных месторождениях вплоть до формирования уран-угольных месторождений [11, 27].

Мировая теплоэнергетическая промышленность, работающая на угле, ориентируется на угли, имеющие низкие содержания радиоактивных элементов. Однако в процессе сжигания даже таких углей происходит концентрирование радиоактивных элементов в отходах сжигания – в шлаках и золах уноса. Концентрации урана и тория в золе-уносе обычно увеличиваются в 3–4 раза по отношению к исходному топливу, но могут достигать и 10-кратных величин.

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. Несмотря на очевидность проблемы, радиогеохимические и радиологические исследования к настоящему времени выполнены лишь на весьма ограниченном числе разрабатываемых угольных бассейнов и месторождений, главным образом в ЕС, США и России. Месторождения нефти в силу незначительных концентраций в них радиоактивных элементов и сложности их аналитики практически не изучаются. В связи месторождениями нефти и газа известны радиевые и радоновые аномалии. Связаны они не непосредственно с углеводородами, а с пластовыми водами нефтяных и газовых месторождений [12, 13].

Комплексное изучение урана и тория и дочерних продуктов их распада во всем спектре каустобиолитов позволяет разобраться с условиями их накопления в органическом веществе разного типа, прогнозировать уровни их накопления на ранних стадиях геологоразведочных работ и, следовательно, обеспечить безопасное использование угля, нефти и газа в различных отраслях промышленности.

Методика исследований

Исследование основано на результатах количественного анализа U и Th более чем в 6020 проб угля и

торфа и свыше 2500 проб углевмещающих пород различных месторождений Сибири, Дальнего Востока, Монголии и Казахстана. Опробование угольных пластов выполнялось бороздовым методом с дифференцированным отбором проб на угледобывающих предприятиях в разрезах и шахтах, 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. Отдельно изучали маломощные угольные пачки, разделенные породными прослоями, сами породные прослои, кластические "дайки", сульфидные включения, карбонатные конкреции и другие минеральные образования. 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 без предварительного озоления, так как последнее может приводить к потерям некоторого количества радионуклидов. 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 кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (исполнители А.Ф. Судыко, В.М. Левицкий). Облучение проб нейтронами выполнено на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т НИИ ядерной физики НИ ТПУ. 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. В настоящее время МЗН считают одним из наиболее достоверных, к тому же экспрессных и высокочувствительных методов определения окологларковых содержаний урана [17]. Для части проб выполнено параллельное определение U и Th методом ICP MS. Анализ выполнен в аналитических лабораториях ООО ХЦ "Плазма", г. Томск (исполнитель Н.В. Федюнина), ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток (исполнитель Н.В. Зарубина) и в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, г. Черноголовка (исполнитель В.К. Карандашев). Сходимость результатов различных методов анализа удовлетворительная. Для контроля выполняли параллельные определения радиоактивных элементов в углях и золах углей, с соответствующими пересчетами содержаний в золе на уголь и наоборот.

Содержание урана и тория в углях и торфах.

Среднее содержание урана и тория в углях Северной Азии несколько ниже, чем оценки среднего для углей мира [25] (табл. 1). Торий-урановое отношение при этом такое же – 1,4. Оно существенно меньше, чем характерное для земной коры, что указывает на избирательное накопление урана в углях по сравнению с торием.

В золе угля содержание урана и тория также ниже, чем среднемировые данные. В то же время следует учесть, что содержание в золе угля этих элементов много выше, чем соответствующие кларки для верхней континентальной земной коры.

Вариации в содержании урана в углях достаточно велики и даже средние оценки колеблются от 0,4 г/т (Карагадинский бассейн) до 32,8 г/т (месторождение Адун-Чулун, Монголия). В золе угля в среднем содержание изменяется от 2,9 г/т (Торгайский бассейн, Казахстан) до 296 г/т (месторождение Адун-Чулун, Моголия). На локальных участках содержание урана может достигать 0,3% [5].

В связи со слабой подвижностью тория в зоне гипергенеза, его содержание в углях более однородно и колеблется от 0,75 г/т (Торгайский бассейн, Казахстан) до 8,1 г/т (Ургальское месторождение). В золе его средние концентрации не превышают 52,1 г/т (месторождение Спецугли, Павловский бассейн).

Минимальные содержания урана и тория характерны для торфов Западной Сибири. Они соответствуют минимальным содержаниям в углях. При этом следует отметить, что в торфах часто присутствуют аномалии урана, достигающие 0,07% [18].

Каких-либо закономерностей, обусловленных различием в возрасте угля, не установлено. Повышенные содержания характерны для углей различного возраста. Хотя в пределах конкретных регионов более высокое содержание урана в целом, а также наличие радиоактивных аномалий, чаще связано с более молодыми углями. В них понижено торий-урановое отношение. Это указывает на накопление урана в углях не только в кластогенной форме, но из водных растворов.

Факторы, контролирующие накопление радиоактивных элементов в каустобиолитах

В целом угли и торф Северной Азии характеризуются невысокими уровнями накопления урана и тория, сопоставимыми с кларковыми содержаниями этих элементов в углях мира. В то же время выявлены угольные месторождения и бассейны, обогащенные ураном и, редко, торием. В пределах бассейнов и месторождений повышенным содержанием радиоактивных элементов характеризуются отдельные угольные пласты или группы пластов, а в пластах – отдельные горизонты (или пачки). Причины таких различий кроются в разных условиях, существовавших на обширной территории угленакопления в фанерозое. Эти различия в первую очередь определяются геолого-структурным положением бассейнов угленакопления, тектоно-магматическими и климатическими условиями их формирования. Они определяют особенности состава пород и геохимическую зональность структур обрамления бассейна, состав и режим подземных и поверхностных вод, скорости угленакопления и качество углей. В зависимости от сочетания этих факторов создавались различные палеофациальные, гидрологические, гидрогеохимические условия, обуславливающие особенности накопления радиоэлементов в конкретных обстановках, а также условия, ответственные за постдиагенетическое перераспределе-

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 ¹		
			U	Th	U	Th	
Сибирский регион							
Угли девонского возраста							
Барзасское	14	32,5	3,2±0,8	3,9±0,4	9,8	12,0	1,2
Убрусское	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	1394	13,5	2,4±0,2	3,3±0,2	17,8	24,4	1,4
Минусинский	570	15,2	2,1±0,3	2,8±0,2	14,1	18,4	1,3
Тунгусский	67	14,2	2,7±0,7	3,3±1,1	19,0	23,2	1,4
Таймырский	39	23,2	2,1±0,2	3,8±0,3	9,2	16,3	1,8
Курайское	12	25,2	1,1±0,2	4,2±0,7	4,4	16,7	3,8
Среднее	2106	14,6	2,1±0,3	3,2±0,4	14,5	21,9	1,5
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	129	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	7,4	26,6	3,6
Татауровское	32	11,6	1,0±0,3	0,94±0,3	8,7	8,1	0,9
Тарбагатайское	34	10,7	2,7±0,8	1,5±0,6	25,1	13,7	0,5
Зашуланское	18	7,4	0,97±0,7	1,1±0,9	13,0	14,5	1,1
Харанорское	41	10,0	2,9±1,0	1,4±0,5	29,4	13,9	0,5
Загустайское	13	17,2	2,9±0,6	5,3±1,5	16,9	31,0	1,8
Буртуйское	18	9,5	2,5±0,4	3,0±0,5	26,1	31,1	1,2
Окино-Ключевское	8	17,9	1,1±0,5	2,3±0,4	6,2	12,6	2,0
Уртуйское	8	7,9	1,4±0,2	1,5±0,3	17,6	19,4	1,1
Апсатское	5	12,3	0,8±0,1	2,5±0,4	6,5	20,3	3,1
Среднее	1127	11,8	1,9±0,2	2,1±0,3	16,0	17,9	1,1
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
Современный торф							
Западно-Сибирский	1927	7,3	0,4±0,1	0,6±0,1	5,1	8,5	1,7
Среднее для Сибири	5282	13,2	2,0±0,4	2,7±0,4	15,2	20,1	1,3
Дальневосточный регион							
Угли позднеюрского-нижнемелового возраста							
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	34,0	2,8
Липовецкое	4	32,7	2,2±0,2	7,0±1,1	6,7	21,5	3,2
Ерковецкое	23	14,2	1,0±0,4	3,6±1,5	7,1	25,5	3,6

Продолжение таблицы 1 на стр. 70

Продолжение таблицы 1

Райчихинское	19	13,6	1,5±0,5	5,6±1,8	10,3	41,3	3,8
Среднее	150	20,6	1,8±0,4	5,6±0,9	8,5	27,2	3,2
Угли палеоген-неогенового возраста							
Шкотовское	9	20,8	1,4±0,3	3,6±1,2	6,7	17,4	2,6
Спецугли	27	12,7	2,7±0,5	6,6±1,0	20,9	52,1	2,5
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	39	16,2	0,7±0,2	2,0±0,3	4,3	12,5	2,9
Возновское	6	18,1	1,8±0,6	4,4±1,4	9,9	24,6	2,5
Сергеевское	7	15,8	1,2±0,2	3,7±0,9	7,6	23,4	3,0
Среднее	129	17,6	1,5±0,2	3,7±0,5	8,6	21,1	2,5
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	3,0±0,3	3,1	8,3	2,7
Среднее	44	23,0	0,8±0,4	2,0±0,3	3,4	9,3	2,7
Угли юрского возраста							
Каражыра	7	11,7	0,5±0,2	1,0±0,2	4,4	8,4	1,9
Майкубенский	10	25,5	5,0±2,0	3,6±0,7	19,7	14,1	0,7
Торгайский	8	18,3	0,5±0,1	0,75±0,2	2,9	4,1	1,5
Среднее	25	18,5	2,0±0,2	1,8±0,7	10,8	9,7	0,9
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	10,7	1,3±0,4	2,0±0,3	12,0	18,5	1,5
Среднее	150	14,3	1,4±0,2	2,8±0,6	9,5	19,8	2,0
Угли пермского возраста							
Таван-Толгой	11	9,8	2,6±0,9	2,0±0,3	26,2	20,0	0,8
Маньт	16	20,2	3,3±0,5	4,6±0,5	16,2	23,0	1,4
Хуренгол	86	38,6	2,0±0,1	6,0±0,3	5,1	15,6	3,0
Среднее	112	22,9	2,7±0,4	4,2±1,2	11,5	18,3	1,6
Угли юрского возраста							
Сайхан-Ово	6	9,7	3,7±1,3	2,2±0,4	38,8	23,2	0,6
Могойн-Гол	15	14,8	23,0±4,2	4,7±1,3	155	31,7	0,2
Баянтэг	8	14,8	9,6±3,2	7,2±0,9	64,5	48,7	0,8
Шарынгол	29	13,1	2,1±0,2	5,2±0,4	15,9	39,6	2,5
Среднее	58	13,1	9,6±4,7	4,8±1,0	73,3	36,8	0,5
Угли раннемелового возраста							
Алаг-Того	10	28,0	2,3±1,1	4,2±0,7	8,1	15,0	1,8
Адун-Чулун	10	12,5	32,8±5,5	1,0±0,1	296	9,2	0,03
Тугрикнуурское	7	13,3	0,7±0,1	1,6±0,2	5,0	7,7	2,3
Шивэ-Ово	28	16,4	4,3±1,2	5,5±1,4	26,5	33,4	1,3
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

Окончание таблицы 1

Среднее	72	15,6	10,1±7,6	2,2±0,8	103	22,3	0,2
Среднее для северной Азии	6022	17,0	2,2±0,2	3,1±0,2	13,2	18,5	1,4
Кларк для углей²	8400		2,4	3,3	16	21	1,4

Примечание: 1 – пересчитано на золу; 2 – по [25].

ние элементов. Очевидно, что все эти факторы тесно взаимосвязаны.

Фактор петрофонда. Влияние состава пород области питания на формирование геохимического фона угольных бассейнов и месторождений достаточно детально изучено [19]. Оно 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.

Ранее уже отмечалось, что наличие в обрамлении угольных бассейнов и месторождений пород с вышекларковыми содержаниями урана обеспечило обогащение ураном и соответствующих углей. Так, в южной части Кузбасса, в непосредственной близости от складчатого обрамления, отмечается относительное обогащение углей ураном по сравнению с северной частью [2]. Здесь имеются угольные пласты, содержащие 3–5 г/т урана и 4–6 г/т тория. В пересчете на золу в таких пластах содержание U превышает 20 г/т, а Th – 40 г/т. Угли северной части Кузбасса (кемеровский район) характеризуются низким уровнем накопления урана при повышенном содержании тория. В обоих случаях геохимические особенности угольных пластов отчетливо коррелируют с геохимической специализацией структур обрамления. В южной и юго-восточной части бассейна распространены обогащенные ураном редкометалльные гранитоиды, кислые вулканиты, черносланцевые и фосфатоносные толщи и даже имеются гидротермальные месторождения и проявления урана (Лабышское, Базасское). Для северо-восточного обрамления Кузнецкого бассейна, являющегося областью сноса в период формирования угленосных отложений на севере Кузбасса, характерно распространение пород торий-редкометалльно-редкоземельной специализации, известны гидротермальные месторождения тория (Богатырское и др.).

Фактор петрофонда ярко проявлен для протяженно-го 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 регио-

не радиогеохимически специализированных интрузивно-вулканогенных комплексов [15, 16].

Фактор синхронного вулканизма. Наличие вулканогенного материала в карбоновых, пермских и мезозойских угленосных отложениях Кузнецкого, Тунгусского, Минусинского и Иркутского бассейнов отмечено многими исследователями [1, 2, 7, 8, 20]. Известно, что пепловый материал, обогащенный сорбированными (подвижными) формами многих элементов-примесей (в том числе P, K и жизненно-важных "микроэлементов", таких как Cu, Co, Zn, V и др.), мог послужить природным "удобрением", обеспечивая интенсивный рост растений-углеобразователей [9, 19]. В дальнейшем, 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 пирокластическая имела кислый и щелочной состав, что можно наблюдать на примере угольных пластов Минусинского бассейна, пласта IV–V Кузнецкого бассейна, группы пластов Ургальского, Раковского, Павловского (Чихезского) месторождений Российского Дальнего Востока, сверхмощного пласта месторождения Нурс-Хотгор в Монголии и других. Гидролиз вулканогенного материала приводил к выносу тория и редкоземельных элементов из тонштейнов, способствуя их накоплению в органической массе угольного пласта

Эти данные согласуются с исследованиями, выполненные для угольного пласта С формации Morrison в штате Юта, США [22], которые показали, что в приконтактных пачках угля, прилегающих к тонштейнам, концентрация U достигает 63 г/т, а Th – 60 г/т, при их содержании в золе центральных пачек 20–25 г/т и 25–30 г/т соответственно. Поскольку в самих тонштейнах содержания U (16 г/т) и Th (48 г/т) существенно ниже, чем в золах приконтактных пачек угля, предполагается присутствие некоторой доли элементов, связанной с органическим веществом, в результате их выщелачивания из пепловых горизонтов.

Особое значение для геохимии радиоактивных элементов пепловый материал приобретает при его накоплении в малозольных углях. Выполненные нами расчеты для пласта Двухаршинный и Великан-I черногорской свиты Минусинского бассейна, содержащих прослой тонштейнов, показали, что с пирокластикой может быть привнесена основная часть содержащегося в углях урана и тория. Около 75% общего количества радиоактивных элементов в этих углях связано с пирокластическим материалом [4].

Проведенные исследования показали, что фактор

Таблица 2. Среднее содержание U и Th в торфах и золах торфов Западно-Сибирской плиты

Элементы	Низинный торф		Верховой торф		Среднее для региона	
	Сухое вещество	Зола торфа*	Сухое вещество	Зола торфа*	Сухое вещество	Зола торфа*
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 ^d	13,4	100	3,2	100	7,3±0,9	100
Количество проб	702	702	1225	1225	1927	1927

Примечание: * – пересчитано на золу. Содержание элементов дано в г/т, A^d дано в мас. %.

синхронного вулканизма проявился на всей территории Северной Азии. Для западных областей велика роль карбон-пермского вулканизма в накоплении урана и тория 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

Гидрологический и гидрогеохимический фактор.

Гидродинамические условия определяли характер водно-минерального питания палеоторфяников. Его роль хорошо видна при сопоставлении средних содержаний U и Th в современных верховых и низинных торфяниках (табл. 2).

Верховые торфяники, водно-минеральное питание которых осуществляется, в основном, за счет атмосферных выпадений, существенно беднее радиоактивными элементами, чем низинные. Низинный торфяник получает значительно большее количество минеральных веществ, в том числе радиоактивных элементов, за счет поступления их с поверхностными и грунтовыми водами. В отдельных месторождениях торфа содержания U и Th сопоставимы с содержанием их в угольных месторождениях.

По данным исследования трех месторождений Канады [26], содержание U в нижних горизонтах торфяного массива составляет 7,3; 6,5 г/т (в золе 26 г/т при зольности 26,4%) и 1,5 г/т (в золе 42 г/т при зольности 3,6%) соответственно. Имеются многочисленные примеры и аномально радиоактивных торфов. Так, в Филиппи, самом мощном из известных в настоящее время низинных торфяников (Греция), содержание в золе торфа достигает 208 г/т U, при разбросе значений от 11 до 208 г/т для U и от 4,6 до 14,8 для Th [24]. Из 167 обследованных торфяников южной Сибири в лесостепной зоне выявлено 35 массивов с содержанием урана в золе более 0,01% [18].

Погребенный под наносы торфяник, являясь водоносным горизонтом, сорбирует дополнительные количества подвижного U. На это указывает повышенное его содержание в погребенном торфе при пониженном Th–U отношении.

Другая составляющая гидрологического фактора – особенности состава поверхностных и грунтовых вод. В угольных месторождениях, несмотря на очевидную роль этого фактора, выделить его "в чистом" виде весьма затруднительно из-за отсутствия достоверных сведений по палеогидрогеохимии вод региона. Опубликованные дан-

ные свидетельствуют, что в условиях аридизации климата, когда происходит обогащение вод ураном, возрастает и ураноносность торфяников [14].

Фактор угольного метаморфизма. Пока нет убедительных фактов, надежно доказывающих вынос или привнос радиоактивных элементов при метаморфизме угля [21, 23]. Тем не менее, ориентируясь на оценки кларков U в бурых и каменных углях [25], а также сопоставляя содержание U и Th в каменных углях и антрацитах конкретных бассейнов [4], можно предположить, что процессы угольного метаморфизма ведут к потере органическим веществом угля радиоактивных элементов.

Сопоставление среднего содержания урана и тория в углях разной степени углефикации может дать корректные результаты лишь при однотипных прочих условиях их формирования. Очевидно, что поиск таких объектов крайне затруднен в силу недостаточных знаний об условиях формирования углей даже сравнительно хорошо изученных угольных бассейнов. Так, непригодны для сравнения бурые угли юрского возраста и каменные угли карбона–перми Сибири в связи со значительным влиянием синхронного вулканизма на формирование геохимического фона последних. Такое сравнение в Сибири с определенными ограничениями возможно лишь для одновозрастных углей Кузнецкого бассейна в связи с тем, что здесь на сравнительно небольшой территории представлен почти полный спектр марочного состава. Прямое сравнение содержания урана и тория в углях разных марок не позволяет сделать однозначных выводов из-за помех, связанных с влиянием неоднородности состава области сноса, фациальных различий, неоднотипного влияния синхронного угленакопления вулканизма и других факторов. В то же время математическая обработка материалов с выведением тренда свидетельствует о снижении содержания урана в процессе угольного метаморфизма. Судя по этим данным, из углей даже при сравнении крайних членов изученного метаморфического ряда выносятся не более 50% урана. Торий при угольном метаморфизме явных тенденций к выносу не обнаруживает. Это подтверждается, в частности, и ростом торий-уранового отношения от бурых к каменным углям.

Гипергенное окисление углей. Гипергенное окисление углей в ряде случаев обуславливает накопление в них урана. Высокая сорбционная способность органического вещества угля по отношению к урану обеспечивает его концентрирование из грунтовых вод даже с рядовым содержанием металла. Особенно благоприятны

для этого процесса условия аридного климата с повышенным содержанием в воде урана и кислорода. В результате в зоне окисления формируются ореолы обогащения ураном. Размеры этих зон накопления урана, 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 урана в месторождении Адун-Чулун (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% урана [10]. 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.

Заключение

Проведенные исследования показали, что в целом каустобиолиты Северной Азии характеризуются невысоким содержанием урана и тория, соответствующим среднему их содержанию в углях мира. Распределение радиоактивных элементов неравномерно и изменяется как в пределах территории, так и в разрезе угленосных отложений. Встречаются угольные пласты и торфяные залежи, аномально обогащенные ураном, вплоть до формирования урановых месторождений.

Накопление урана и тория в каустобиолитах обусловлено разнообразными факторами. Ведущими являются фактор петрофонда, гидрогеохимический фактор и фактор синхронного вулканизма. Наиболее контрастные и масштабные аномалии радиоактивных элементов в углях связаны с поступлением обогащенных ураном вод в зону окисления угольных пластов или в торфяную залежь. Торий-урановые аномалии в каустобиолитах могут быть связаны с поступлением кислой пирокластике в палеоторфяник и последующим выносом и перераспределением радиоактивных элементов на контакте с пепловым горизонтом.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-05-00405А и № 16-55-53122
ГФЕН_а.

Литература

1. Адмакин Л.А. Типы тонштейнов в угольных пластах Минусинского бассейна // *Литоология и полезные ископаемые*. – 1992. – № 2. – С. 49–56.
2. Радиоактивные элементы в палеозойских углях Сибири / С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов, А.В. Волостнов и др. // *Геохимия*. – 2005. – № 5. – С. 527–541.
3. Арбузов С.И., Ершов В.В. Роль вулканизма позднего карбона–перми в формировании геохимического облика углей Минусинского бассейна // *III Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии "ВУЛКАНИЗМ И ГЕОДИНАМИКА" 5–8 сентября 2006 г. Материалы симпозиума*. – Улан-Удэ : Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2006. – Т. 3. – С. 628–632.
4. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. – Томск : Д-Принт, 2007. – 468 с.
5. Арбузов С.И., Машенькин В.С. Зона окисления угольных месторождений – перспективный источник благородных и редких металлов (на примере месторождений Центральной Азии) // *Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири : материалы межрегиональной научно-практической конференции*. – Томск : Изд-во ТПУ, 2007. – С. 26–31.
6. Редкометалльный потенциал углей Северной Азии (Сибирь, Российский Дальний Восток, Монголия) / С.И. Арбузов, В.С. Машенькин, В.И. Рыбалко и др. // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. – 2014. – № 3, ч. 2. – С. 41–44.
7. Ван А.В. Роль пирокластического материала в угленосных отложениях Кузнецкого бассейна // *Советская геология*. – 1968. – № 4. – С. 129–137.
8. Ван А.В. Вулканогенный пепел в угленосных отложениях верхнего палеозоя Средней Сибири // *Литоология и полезные ископаемые*. – 1972. – № 1. – С. 40–51.
9. Ван А.В. Влияние вулканизма на накопление органического вещества в осадочных толщах // *Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых : материалы международной научно-технической конференции*. – Томск : Изд-во ТПУ, 2001. – С. 28–29.
10. Гаврилин К.В., Озерский А.Ю. Канско-Ачинский угольный бассейн. – М. : Недра, 1996. – 272 с.
11. Кисляков Я.М., Щёточкин В.Н. Роль мезозойских экзогенно-эпигенетических процессов в образовании урано-угольных месторождений // *Геология рудных месторождений*, 1994. – Т. 36, № 2. – С. 148–168.
12. Кичигин А.И. Ухтинский радиевый промысел (1931–1956) // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы II Международной конференции*. Томск, 18–22 октября 2004 г. – Томск : Тандем-Арт, 2004. – С. 256–260.
13. Куриленко В.В., Хайкович И.М. Месторождения полезных ископаемых как источник радиоактивного загрязнения // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы II Международной конференции*. Томск, 18–22 октября 2004 г. – Томск : Тандем-Арт, 2004. – С. 307–311.
14. Условия накопления урана в низинных старичных торфяниках / А.К. Лисицын, А.И. Круглов, В.М. Пантелеев и др. // *Литоология и полезные ископаемые*, 1967. – № 3. – С. 103–116.
15. 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.
16. Миронов Ю.Б. Уран Монголии. – 2-е изд. – СПб. : Анатолія, 2006. – 328 с.
17. Рихванов Л.П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований (на примере Алтае-Саян-

- ской складчатой области). – Новосибирск : Гео, 2002. – 550 с.
18. Экзогенное концентрирование радионуклидов в торфяниках и корах выветривания Новосибирской области / Н.А. Росляков, Ю.А. Калинин, Н.А. Рослякова и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : материалы II Международной конференции. Томск, 18–22 октября 2004 г. – Томск : Тандем-Арт, 2004. – С. 522–526.
19. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. – Екатеринбург : НИСО УрО РАН, 2002. – 420 с.
20. Nature of tonsteins in the azeisk deposit of the Irkutsk coal basin (Siberia, Russia) / S.I. Arbuzov, A.M. Mezhibor, D.A. Spears et al. // *Int. J. of Coal Geology*. – 2016. – Vol. 152. – P. 99–111.
21. Affolter R.H., Hatch J.R., Geochemical characterization of Rocky Mountain, Northern Great Plains, and Interior Province coals // *AAPG Bull.* – 1984. – Vol. 68, No. 4. – 447 p.
22. Crowley S.S., Stanton R.W., Ryer T.A. The effects of volcanic ash and the maceral and chemical composition of the C coal bed, Emery Coal Field, Utah // *Org. Geochem.* – 1989. – Vol. 14, No. 3. – P. 315–331.
23. Goodarzi F., Cameron A.R. Distribution of maior, minor and trace elements in coals of the Kootenay Group, Mount Allan, Alberta // *Canadian mineralogist.* – 1987. – Vol. 25. – P. 555–565.
24. Influence of Geological conditions during peat accumulation on trase element affinities and their behavior during peat Combustion / S. Kalaitzidis, K. Christianis, A. Georgakopoulos et al. // *Energe & Fuels.* – 2002. – Vol. 16. – P. 1476–1482.
25. 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, No. 2. – P.135–148.
26. Shotyk W., Nesbitt Y.W., Fyfe W.S. The behavior of major and trace elements in complete vertical peat profiles from three Sphagnum bogs // *Int. J. Coal Geology.* – 1990. – Vol. 15, No. 3. – P. 163–190.
27. Vine J.D. Uranium-bearing coal in the United States // *Conf. on peaceful uses of atomic energy, Geneva, Switzerland, August 1955. U.S. Geol. Survey Paper, United Nations.* – No. P/55. – P. 525–531.

УРАН И ТОРИЙ В ТЕХНОГЕННЫХ АЭРОЗОЛЯХ В РАЙОНЕ Г. НОВОСИБИРСКА

С.Ю. Артамонова

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, artam@igm.nsc.ru

URANIUM AND THORIUM IN TECHNOGENIC AEROSOLS IN THE REGION OF THE CITY OF NOVOSIBIRSK

S.Yu. Artamonova

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

Установление вклада отдельных источников загрязнения среди множества других – достаточно сложная научная задача, но ее решение может стать определяющим для реализации мер по экологическому оздоровлению территорий. Комплексное минерально-геохимическое изучение аэрозольных частиц, накопленных за зиму в снежном покрове г. Новосибирска, с помощью РФА-СИ и ИСП-МС методов и сканирующей электронной микроскопии позволило выявить вклад отдельных промышленных предприятий в общее техногенное загрязнение мегаполиса.

Ключевые слова: геохимия техногенеза, выбросы энергетических предприятий, выбросы предприятий топливно-ядерного цикла, техногенные аэрозоли, естественные радионуклиды, изотопы урана, экологический риск

Determination of the contribution from separate sources of pollution among many others is rather complicated scientific problem, but its solution can become determinative for realization of the measures aimed at ecological sanitation of territories. Integrated miner- alogical and geochemical examination of aerosol particles accumulated during winter in the snow cover of Novosibirsk with XRFA-SR, ICP-MS, scanning electron microscopy allowed to reveal the contribution from separate industrial enterprises into the general technogenic pollution of the megapolis.

Keywords: geochemistry of technogenesis, emission of heat and electric power plants, emission of nuclear fuel cycle enterprises, technogenic aerosol, natural radionuclides, isotopes of Uranium, ecological risk

Введение

Загрязнение воздуха промышленных городов давно стало актуальной проблемой. Изучение содержания урана и тория в техногенных аэрозолях особо актуально из-за связанных с ними рисков для здоровья людей. В условиях Сибири снежный покров является идеальным объектом для изучения геохимии техногенеза, поскольку кристаллы снега (зимой) и капли дождя (летом), проходя через толщу воздуха, захватывают твердые аэрозольные частицы и газообразные соединения.

Целью работы стало оценить радиоактивную уран-ториевую составляющую техногенного аэрозольного загрязнения г. Новосибирска.

Объекты изучения

В Новосибирске действует 4 теплоэнергетических предприятия (рис. 1): два из них ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 расположены на левобережье. Предприятие ядерно-топливного цикла – Новосибирский завод химконцентратов