

Г.П. Сидорова¹, Д.А. Крылов²

РАДИОНУКЛИДЫ В УГЛЯХ И ПРОДУКТАХ ИХ СЖИГАНИЯ

G.P. Sidorova¹, D.A. Krylov²

Radioactive Elements in Coals and their Combustion Products

РЕФЕРАТ

ABSTRACT

Приведен обширный аналитический материал по содержанию естественных радионуклидов (ЕРН) в углях различных месторождений как отечественных, так и зарубежных. Приводятся подробные данные по исследованиям радиоактивности углей и отходов их сжигания по месторождениям Забайкалья.

Отмечается, что не все угольные месторождения России содержат повышенное содержание ЕРН, но определять это необходимо уже на стадиях разведки. Если при проведении геологоразведочных работ на угольных месторождениях выявляются участки с повышенным содержанием ЕРН, то применение предлагаемой системы радиационного контроля углей на стадии отработки месторождений позволит снизить до минимума их попадание в топливный цикл и в окружающую среду.

Радиационная опасность угольных ТЭС, связанная с ЕРН, — одна из важнейших проблем угольной энергетики, которая порой недооценивается в современном мире, но требует предельного внимания.

Источниками загрязнения ТЭС являются выбросы в атмосферу, жидкие сбросы, а также твердые отходы, оставшиеся после сжигания угля, т.е. зола и шлак.

Ключевые слова: уголь, естественные радионуклиды, уран, радиоактивность, зола, шлак, удельная активность, выбросы

Presents an extensive analytical material content of natural radionuclides (NRN) in coal of different fields, both domestic and foreign. Provides details on the study of radioactivity of coal and waste incineration on deposits of Transbaikalia.

Not all Russian coal deposits contain rose-content NRN in progress, but it is necessary to determine at the time of exploration. If during exploration for coal deposits areas with high concentration of NRN are identified, the application of the proposed system of radiation monitoring at the stage of coal mining deposits will be reduced to a minimum the hit in the fuel cycle and the environment.

Sources of pollution are thermal power plant air emissions, liquid effluents and solid waste left after burning coal — ash and slag.

Key words: coal, natural radionuclide's uranium radioactivity, ash, slag, the specific activity of emissions

Введение

Урановая минерализация в углях была отмечена еще в 1875 г. на месторождении Олд-Лейден в США (Berthoud, 1975). К первым отечественным работам в этой области можно отнести появившуюся в Украинском химическом журнале в 1929 г. статью авторов Е.С. Буксера, Я.М. Шапиро, К.Г. Бронштейна «Радиоактивность каменных углей и антрацитов Донецкого бассейна», в 1934 г. в том же журнале была издана подобная статья и о кузнецких углях (Е.С. Буксер и соавт., 1934). Исследования были проведены на коллекциях проб угля с этих бассейнов. Первым известным отчетом в данной области исследований является отчет о радиоактивности углей Минусинского бассейна (Г.С. Лабазин, 1930). Содержание урана оценивалось в углях по данным химического анализа и среднее содержание U_3O_8 в углях составляло 0,001 %. В 1940-х гг. работы по изучению радиоактивных элементов в углях начались в США. Целью этих работ было извлечение урана из угля и лигнитов. В 1950-х гг. на территории США было открыто несколько месторождений урансодержащих углей и углистых сланцев. В то же время ряд месторождений с радиоактивными углями был открыт и в Европе (Венгрия, Югославия, Словения).

Сырьем для получения урана на начальном этапе развития отечественной атомной энергетики являлся

именно уголь. Уран-угольные месторождения России, Казахстана и Киргизии были начальной минерально-сырьевой базой урановой промышленности СССР [1]. Поэтому большинство исследований этого периода посвящены высоким или рудным концентрациям урана в угле и в них отсутствуют данные о содержаниях тория.

Исследованиям радиоактивности в углях посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных авторов. В последние годы в основных угледобывающих районах Центральной Сибири активные радиоэкологические исследования проводятся томскими геохимиками, в т.ч. Л.П. Рихвановым, С.И. Арбузовым и др. А.А. Смыслов и др. (1996) считают, что Канско-Ачинский и Иркутский бассейны геохимически специализированы на уран. В настоящее время в литературных источниках освещаются данные об аномальных содержаниях урана в углях некоторых месторождений, ранее такая информация не публиковалась в открытой печати. Много информации, особенно касающейся высоких концентраций урана в углях, до сих пор является закрытой.

Значительно меньше работ посвящено одному из важнейших экологических вопросов — проблеме выбросов, накопления и использования продуктов сжигания углей — зола+шлак+газовая фаза. Из известных данных следует отметить работу группы авторов «Онкологическая цена тепловой и атомной электро-

¹ Забайкальский государственный университет, Чита. E-mail: druja@inbox.ru

² Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва. E-mail: krylova.vep@yandex.ru

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia. E-mail: druja@inbox.ru

² National Research Centre «Kurchatov Institute», Moscow, Russia. E-mail: krylova.vep@yandex.ru

энергии» [2]. В ней отмечается негативное воздействие от использования угольных теплоэлектростанций (ТЭС) на здоровье людей и окружающую среду.

Анализ литературных источников по результатам исследований угольных месторождений приводит к выводу о недостаточной изученности проблемы радиоактивности углей и крайне слабой изученности радиоэкологических проблем, связанных с добычей, транспортировкой и сжиганием углей.

Радиоактивность углей различных месторождений

Имеющиеся на сегодняшний день материалы по изучению естественных радионуклидов (ЕРН) в углях, к сожалению, не дают полного представления о характере их распределения, формах нахождения, генезисе и уровнях накопления ни в одном из угольных бассейнов.

Среднее содержание урана (кларк) в углях, по Я.Э. Юдовичу, составляет 3,6 г/т [3, 4]. Содержание урана в большей части угольных месторождений не превышает кларкового, но имеются месторождения, в которых это содержание превышено в несколько раз. Причем месторождения эти разрабатываются без всякого радиационно-гигиенического контроля, уголь используется на ТЭС, котельных и в частных домах. Зола и шлак, обогащенные в несколько раз ЕРН, накапливаются на огромных территориях, образуя с годами, по сути, техногенные месторождения ЕРН.

Удельная активность ЕРН в углях различных месторождений различается в 100÷1000 и более раз, хотя при усреднении данных по странам они становятся близкими друг к другу. Вариации пределов удельной активности урана в угольных месторождениях мира составляют 0,6÷3600 Бк/кг, а при наличии в районах месторождений урановых аномалий — 3600÷8400 Бк/кг [5].

По аналитическим исследованиям авторов статьи, удельные активности ^{226}Ra в углях разных стран следующие: угли США — в среднем 22 Бк/кг; Австралии — 30–48 Бк/кг; ФРГ — в среднем 26 Бк/кг; Чехословакии — 4–13 Бк/кг; Польши — 2–35 Бк/кг [6].

Радионуклидный состав углей, типа антрацитовый штыб Восточного Донбасса, по проведенным в последние годы исследованиям, определяется следующими показателями: ^{238}U — (76±6 Бк/кг); ^{226}Ra — (34±4 Бк/кг); ^{232}Th — (21±2 Бк/кг); ^{40}K — (300±20 Бк/кг). Отмечается широкая вариация содержаний ЕРН в этих углях, что может быть связано с ограниченностью числа проб.

В многолетних исследованиях, проведенных учеными Томского политехнического университета, изучена геохимия радиоактивных элементов в углях месторождений и бассейнов Северной Азии (Сибири, Дальнего Востока, Казахстана и Монголии). Показано, что «...содержание урана в углях месторождений и бассейнов Северной Азии изменяется от 0,6 до 32,8 г/т, а тория — от 0,8 до 32 г/т» [7]. Установлено, что средневзвешенное содержание урана в углях Сибирского региона с учетом колоссальных ресурсов Западно-Сибирского угольного бассейна составляет 1,5 г/т. Эта цифра ниже оценки угольного кларка

(среднего содержания химического элемента в углях мира) и соответствует среднему геометрическому содержанию U в бурых углях мира. Средняя оценка содержания тория для углей Сибири составляет 2,4 г/т. Рассчитанное региональное среднее содержание тория для Сибири ниже угольного кларка, но выше среднего геометрического содержания тория в бурых углях мира. Участки высокорadioактивных углей известны в месторождениях Иркутского и Канско-Ачинского угольных бассейнов, а также в угольных месторождениях Забайкалья и Монголии.

Угли Кузнецкого бассейна характеризуются как слаборадиоактивные, но часть угольных пластов бассейна отмечаются повышенными средними содержаниями урана и тория. Даже в пластах с низкими средними концентрациями U встречаются участки, обогащенные радиоактивными элементами. Содержание урана в них могут существенно превышать рекомендуемые предельно допустимые концентрации для почв. Промышленное использование таких углей в качестве топлива требует тщательного изучения выбросов радиоактивных элементов при их сжигании, а использование таких шлаков и зол в хозяйственных целях должно быть ограничено [3].

Практически на всех разрезах имеются локальные участки окисленных углей, которые требуют специального обращения, т.к. часто характеризуются аномально высокими активностями ^{226}Ra . Кроме того, например, для углей Канско-Ачинского бассейна (Березовский и Назаровский разрезы в Красноярском крае) установлены товарные угли с повышенной активностью радия. Содержание урана и тория в добываемых углях Кузбасса находится в пределах допустимых значений, за исключением угля, добываемого из шахт «Бутовская», им. Димитрова, им. Шевякова и на разрезе Итатский [3].

Содержание урана в углях Итатского месторождения значительно превышает значения, характерные для Кузбасса: уран — среднее — 56,9, вариации (6–139) г/т. На шахте им. Шевякова среднее содержание тория достигает 15,8, вариации (3,75–85,5) г/т.

Содержание урана в угле в западной части Канско-Ачинского угольного бассейна в среднем составляет 4,9 г/т [3].

В США в штате Южная Дакота обнаружили в ряде пластов лигнита (лигнит — бурый ископаемый уголь низкого сорта — наиболее молодой из ископаемых углей) аномальное содержание урана, которое достигало 1600–3200 г/т. По результатам исследований к 1958 г. на западе США были обнаружены промышленные месторождения урана в углях. На 1956 г. достоверные запасы пластов ураноносных углей с промышленным содержанием U_3O_8 на уровне 0,15–0,25 % составляли в штатах Северная и Южная Дакота 300 тыс. т, а потенциальные — 400 тыс. т [3].

В 1993–1997 гг. Институтом промышленной технологии Минатома России совместно с Институтом горного дела им. А.А. Сковородина были выполнены радиационные обследования российских угольных шахт. По результатам этих обследований было показана

но, что в шахтах радиационная опасность обусловлена выделением ^{222}Rn в воздушное пространство, присутствием ^{226}Ra и ^{228}Ra в углях и вмещающих породах [8]. Установлено, что на 24 % из 159 обследованных шахт значения эффективной дозы облучения отдельных работников достигают установленного нормами радиационной безопасности (НРБ-99) предела 5 мЗв/год. Средняя по отрасли доза облучения подземного персонала близка к 2 мЗв/год, что приводит к увеличению примерно на 15 % общего риска смерти, связанного с добычей угля. На 14 шахтах дозы облучения на отдельных рабочих местах превышают 5 мЗв/год, что по законодательству требует введения режима радиационной безопасности.

Примером отработки углей с повышенным содержанием ЕРН может служить многолетний опыт, применяемый при добыче углей Уртуйского месторождения. Геологоразведку Уртуйского угольного месторождения проводило геологическое объединение, специализирующееся на поисках и разведке радиоактивного сырья.

Промышленное освоение Уртуйского месторождения начато в 1986 г. Приаргунским производственным горно-химическим объединением (ОАО «ППГХО») — крупнейшим уранодобывающим предприятием России, что обусловило профессиональный подход к вопросам радиационной безопасности как при разведке и добыче угля, так и при его использовании. Накопленный опыт обозначил проблемы, связанные с обеспечением радиационной безопасности персонала и населения, а также пути их решения. За основу были приняты требования норм радиационной безопасности о непревышении дозы облучения населения 1 мЗв в год (на человека) и удельной активности золошлаковых отходов (ЗШО), которые могут использоваться в строительных целях в населенном пункте, не более 370 Бк/кг. Специалисты в обоснованиях использования уртуйских углей учитывали условия их сжигания на Краснокаменской ТЭЦ, входящей в ППГХО, и в бытовых печах, рассеяние выбрасываемых с продуктами сжигания радионуклидов, закономерности поступления радиоактивных веществ по ингаляционной и пищевой цепочкам в организмы животных и человека. На основе расчетов определены зависимости для определения дозы облучения человека и предельные нормы выбросов радиоактивных веществ в зависимости от содержания ЕРН в углях. Результаты исследований получили положительные заключения ФМБЦ им А.И. Бурназяна, НИИ радиационной гигиены и Федерального медико-биологического агентства РФ и стали основой для организации системы контроля качества угля по радиационно-гигиеническому фактору [9,10].

Особенностью углей Уртуйского месторождения являются весьма существенные изменения содержания в них ЕРН (более чем в 100 раз), что обусловлено особенностями их накопления и перераспределения в процессе формирования угольного месторождения. Уртуйские угли по содержанию урана разделены на 3 сорта:

- 1 сорт (потребительские угли) с содержанием урана менее 0,001 % (с удельной активностью до 123 Бк/кг);
- 2 сорт (энергетические угли) с содержанием урана 0,001–0,01 % (с удельной активностью 123–1230 Бк/кг);
- 3 сорт (комплексные угли) с содержанием урана более 0,01 % (с удельной активностью более 1230 Бк/кг) [2, 3].

Угли 1-го сорта можно использовать в бытовых целях. Радиоактивность золы и шлака, образующиеся при сжигании угля 1-го сорта, не превышает допустимых значений активности строительных материалов, разрешенных нормами радиационной безопасности для населенных пунктов. Такой уголь сертифицирован региональным центром Роспотребнадзора. Активность такого угля составляет в среднем 77,5 Бк/кг. При сжигании такого угля образуются ЗШО с удельной активностью 327 Бк/кг, которые по классификации относятся к строительному материалу 1-го класса, разрешены для применения в зонах перспективной застройки в населенных пунктах [10].

Угли 2-го сорта можно использовать на ТЭС. Уровень радиоактивности золы и шлака, образующиеся при сжигании этих углей соответствует активности строительных материалов 2-го и 3-го классов, применение которых ограничено санитарными нормами. На предприятии их хранение осуществляется в золошлакохранилище, а применение разрешено только по решению санитарно-эпидемиологического надзора и только в качестве материала для закладки выработанного пространства при добыче урановых руд подземным способом.

При сжигании комплексных углей 3-го сорта образующиеся зола и шлак имеют активность, при которой использование их недопустимо в строительных целях [10].

До 1995 г. в специальных отвалах с прикрытием их поверхности инертным материалом из вскрышных пород было складировано 750 тыс. т углей 3-го сорта. При сжигании этого угля могло бы образоваться более 100 тыс. т золы и шлака. Такой материал классифицируют как низко-радиоактивные отходы, требующие специальных условий хранения (захоронения).

На Уртуйском угольном разрезе создан пункт управления качеством угля по типу автомобильной радиометрической контрольной станции для сортировки урановых руд. Через опытный пункт пропускают все без исключения углевозы, что позволяет сортировать уголь по радиационно-гигиеническому фактору.

Кроме радиометрической контрольной станции, в систему геофизического контроля качества угля вошли гамма-опробование забоев экскаваторов и штабелей угля, а также гамма-каротаж эксплуатационно-разведочных скважин. Все применяемые на разрезе методы контроля радиационно-гигиенического качества угля позволяют полностью исключить превышение содержания ЕРН в отгружаемом потребителям угле.

Радиоактивность продуктов сжигания углей

При изучении радиационной обстановки вокруг ТЭС главным является исследование распространения в атмосферном воздухе ЕРН, выбрасываемых с летучей золой из труб ТЭС и осаждающихся затем на земную поверхность. Большая часть выпавшей на земную поверхность золы оседает на надземной части растений и в конечном итоге попадает в почву. Кроме того, значительный вклад в радиоактивное загрязнение окружающей среды может дать эффект удержания золы и аэрозолей кронами деревьев в лесных массивах (до 5 раз).

Авторами были проанализированы результаты сжигания углей энергетического сорта на Краснокаменской ТЭЦ за период 2005–2010 гг. В процессе сжигания все твердые отходы ТЭЦ можно разделить на: шлак + тяжелая фракция золы; летучая зола-унос, которую, в свою очередь, можно разделить на фракцию средней крупности, улавливаемую электрофильтрами, и тонкодисперсную фракцию золы-унос, не улавливаемую фильтрами. Учитывая характеристики фильтров и реальную их эффективность, степень улавливания золы-уноса составляет 95 %, т.е. 5 % золы-унос ежегодно выбрасывается в атмосферу.

В результате расчета баланса урана установлено, что основным источником загрязнения окружающей среды при сжигании бурых углей с повышенным содержанием радиоактивных элементов является тонкодисперсная составляющая золы-унос, практически не улавливаемая электрофильтрами, что подтверждается исследованиями и других авторов.

Радионуклиды, поступающие в воздух из дымовых труб ТЭС, попав в атмосферу, рассеиваются, образуя сложное объемное поле, в пределах которого концентрация вещества уменьшается от максимума у выхода из трубы до минимального (фоновых для данного района) значения.

Исследования, проведенные во многих странах, показали, что радиоактивность почв и воздуха на территориях, прилегающих к ТЭС, порой в десятки раз превышает не только фоновые, но даже предельно допустимые значения. Многое зависит при этом от того, какой именно уголь использует конкретная ТЭС, к тому же очень многое зависит от технологии подготовки угля и технологии его сжигания.

По литературным данным, при среднем содержании урана в земной коре 2,0 г/т, среднее содержание урана в богатых золах достигает 400 г/т.

В работе Н.А. Белюсенко и А.А. Соловьянова приведены сведения о том, что загрязненность золошлаковых отходов естественными радионуклидами на отдельных российских ТЭС (исследовались около 50 ТЭС, на которых использовались 20 видов углей), при сжигании некоторых углей, например, подмосковных и азейских, повышена и достигает 520 Бк/кг при нормативе их бесконтрольного использования в строительстве 370 Бк/кг [11].

Анализ результатов исследования показывает, что при сжигании углей даже с низкими концентрациями радиоактивных элементов в их продуктах сжигания содержание урана и тория обычно увеличивает-

ся в 3–4 раза по отношению к исходному топливу. Например, при сжигании кузнецких углей в их золах происходит концентрирование радиоактивных элементов. Коэффициент концентрации для урана и тория колеблется от 1,5–2 до 10–15 и зависит от полноты озоления угля, марочного состава и зольности угля.

На основании анализа литературных источников по результатам исследований угольных месторождений, радиационных выбросов от угольных ТЭС, использующих угли различных месторождений, в том числе и забайкальских, отмечается недостаточность изученности проблемы радиоактивности углей и крайне слабой изученности радиоэкологических проблем, связанных с добычей, транспортировкой и сжиганием углей, как в России, так и за рубежом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кизильштейн Л.Я. Уголь и радиоактивность // Химия и жизнь. 2006. № 2. С. 24–29.
2. Ильин Л.А., Книжников В.А., Княжев В.А. и соавт. Онкологическая «цена» тепловой и атомной электроэнергии. Под ред. Л.А. Ильина и И.П. Коренкова. — М.: Медицина. 2001. 240 с.
3. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Уран в углях. — Сыктывкар: Коми научный центр Уро РАН. 2001. 84 с.
4. Давыдов М.Г., Тимонина Ю.А. Радиационная обстановка в районе расположения ГРЭС Ростовской области // Теплоэнергетика. 2003. № 12. С. 8–13.
5. Давыдов М. Г. Радиоэкология [Электронный ресурс]. Радиоактивность литосферы. (<http://www.phys.rsu.ru/web/nuclear/radiologie/fRE6.htm>)
6. Овсейчук В.А., Крылов Д.А., Сидорова Г.П. Радиоактивные элементы в углях и продуктах их сжигания // Атомная стратегия. 2013. № 3. С. 12–14.
7. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А. Изучение потерь радиоактивных элементов при озолении угля и прогнозирование их выбросов в атмосферу // В сб. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». — Томск: Изд-во ТПУ. 1996. С. 306–308.
8. Павлов И.В. Радиационная опасность для населения и производственного персонала, связанная с эксплуатацией объектов топливно-энергетического комплекса (материалы слушаний «Об обеспечении радиационно-экологической безопасности в топливно-энергетическом комплексе России», проведенных 17 июня 1997 г. в Комитете по экологии Государственной Думы) // Бюлл. Центра обществ. инф-ции по атомной энергии. 1997. № 9. С. 28–30.
9. Суханов Р.А., Сидорова Г.П. Проблемы использования углей с повышенной радиоактивностью // Горный журнал. 2009. № 2. С. 43–45.
10. Сидорова Г.П. Радиационно-гигиеническое качество углей Уртуйского месторождения: экологические проблемы и методы решения // Горный журнал. 2012. № 8. С. 26–28.
11. Белюсенко Н.А., Соловьянов А.А. Принципы программного обеспечения радиационно-экологической безопасности на объектах ТЭК России // Безопасность труда в промышленности. 1996. № 1. С. 30–34.

Поступила: 05.05.2015

Принята к публикации: 12.02.2016