

РАДИОАКТИВНОСТЬ УГЛЕЙ И ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ¹

Г.П. СИДОРОВА, Д.А. КРЫЛОВ

В монографии рассмотрены современные представления о проблемах использования угля как энергетического сырья, в частности, вопросы, связанные с повышенным содержанием естественных радионуклидов. Дана подробная оценка радиационного качества угля по ряду Забайкальских месторождений. Рассмотрена методика отработки месторождений с повышенными концентрациями естественных радионуклидов на примере Уртуйского бурогоугольного месторождения.

Ниже публикуется краткий обзор, подготовленный авторами по материалам монографии специально для нашего журнала.

Уголь всегда содержит природные радиоактивные вещества уранового и актиноуранового рядов (^{238}U и продукты его распада ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po и т.д.); ^{235}U и продукты его распада ^{219}Rn и т.д.), ториевого ряда (^{232}Th и продукты его распада ^{220}Rn , ^{216}Po), а также долгоживущий радиоактивный изотоп ^{40}K .

В 1940-х гг. активные работы по изучению радиоактивных элементов в углях начались в США. Целью этих работ было извлечение урана из угля. В 1950-х гг. на территории США было открыто несколько месторождений урансодержащего

угля и углистых сланцев. В это же время месторождения с радиоактивным углём были открыты и в Европе (Венгрия, Югославия, Словения).

Исследованиям радиоактивности в угле посвящено значительное количество работ. Уран является наиболее изученным из группы естественных радионуклидов (ЕРН) в угле. Остальные радиоактивные элементы изучены слабо и только на отдельных угольных месторождениях.

Уран-угольные месторождения России, Казахстана и Киргизии были начальной минерально-сырьевой базой урановой промышленности СССР.

По данным известного российского геохимика Я.Э. Юдовича, кларковое (среднее) содержание урана в буром угле составляет 2.7 ± 0.3 г/т, в каменном угле 1.9 ± 0.1 г/т; содержание тория в буром угле 3.8 ± 0.2 г/т, каменном 3.1 ± 0.1 г/т. Таким образом, бурый уголь обогащён ураном и торием больше, чем каменный.

Концентрация радионуклидов в разных угольных пластах различается в сотни и тысячи раз. Угли, содержащие уран в концентрациях на один-два порядка выше кларка, известны во многих странах мира: в России, Киргизии, Турции, Франции, США и других странах. Так, содержание урана в буром угле США в штатах Северной и Южной Дакоты и на востоке штата Монтаны колеблется в пределах четырёх порядков (0.001–10%), а среднее содержание

¹ Монография. Забайкальский государственный университет. Чита: ЗабГУ, 2016. 237 с. ISBN 978-5-9293-1629-6 ©

урана в нём составляет около 80 г/т. Соответственно, концентрация и удельная активность естественных радионуклидов (ЕРН) в угле различных месторождений может отличаться в 100–1000 раз и более (например, активность ^{238}U варьируется в пределах 0.6–3600 Бк/кг при среднем содержании 18–28 Бк/кг). Пределы вариации удельной активности урана в угольных месторождениях мира при наличии в районах месторождений урановых аномалий составляют $3.6 \div 8.4 \cdot 10^4$ Бк/кг.

Содержание урана в большей части угольных месторождений России не превышает кларкового, но имеются месторождения, в которых оно превышено в несколько раз. К сожалению, многие месторождения разрабатываются без всякого радиационно-гигиенического контроля.

В публикациях томских учёных показано, что средние содержания урана и тория в угле Кузбасса соответствуют величинам: для урана – 2.8 г/т, для тория – 3.4 г/т. Легко подсчитать, что в 211 млн т угля, добытого в 2014 г. в Кузбассе, содержится 591 т урана и 717 т тория.

Согласно нашему расчёту, теоретически из 590 т урана можно было бы изготовить ядерное топливо, которого хватит на 3 года работы реактора ВВЭР-1000. Это соответствует, например, работе одного энергоблока Ростовской АЭС.

В проведённых исследованиях отмечено, что ряд конкретных угольных пластов Кузнецкого угольного бассейна характеризуется повышенными средними содержаниями урана и тория. Даже в пластах с низким средним содержанием ЕРН встречаются участки, обогащённые радиоактивными элементами. В Канско-Ачинском бассейне также установлено наличие товарного угля с повышенной активностью радия (^{226}Ra).

В табл. 1 представлены данные по повышенным концентрациям урана и тория в товарном угле, добываемом на ряде угольных предприятий Ке-

Таблица 1

**Товарная продукция предприятий
угледобычи в Кемеровской области
с повышенным содержанием
в углях урана и тория, г/т**

Шахта, разрез	Уран, г/т	Торий, г/т
Бутовская	5.9	7.9
Им. Волкова		9.6
Бирюлинская	9.0	
Березовская		7.2
Ягуновская		9.8
	3.2	15.8
Им. Шевякова*)	(0.31–24.2)	(3.75–85.8)
	56.9	2.4
Разрез Итатский*)	(6.0–139)	(0.2–9.9)

* Первое число – среднее значение, в скобках – минимальное и максимальное значения.

ровской области. Наихудшие показатели в радиационном плане имеет бурый уголь Канско-Ачинского бассейна, добываемый на Итатском разрезе. Содержание урана в угле и вмещающих породах этого месторождения в несколько раз превышает значения, характерные для Кузбасса: уран – среднее 56.9 г/т, вариации (6–139) г/т, торий – 2.4 (0.2–9.9) г/т соответственно.

Максимальные значения содержания урана и тория зафиксированы в угле, добываемом на шахте им. Шевякова: при среднем значении содержания урана 3.2 г/т максимальное значение вариации составляет 24.2 г/т, а при среднем значении содержания тория 15.8 г/т, максимальное значение вариации – 85.8 г/т. По предварительным оценкам, участки с повышенным содержанием урана занимают порядка 20% площади Итатского разреза.

По оценке специалистов Российского научно-исследовательского института горноспасательного дела (РосНИИГД), среди факторов, отрицательно влияющих на организм работников угольных

предприятий следует выделить радиоактивное облучение. Особенно опасно повышенное содержание в шахтной атмосфере аэрозолей радона и торона – продуктов распада урана и тория, и некоторых других радионуклидов. Они попадают в воздух шахт в результате диффузии из угольных пластов и вмещающих пород. При попадании с вдыхаемым воздухом в лёгкие эти радиоактивные газы, а также дочерние продукты их распада разносятся кровью по организму и, распадаясь, воздействуют ионизирующим излучением на внутренние органы. В процессе облучения в наибольшей степени страдают лёгкие, хотя повреждения накапливаются во всём организме. Причём нарушения наблюдаются и на генетическом уровне, а последствия облучения выявляются уже на стадии необратимых патологических изменений организма. **Чтобы сохранить здоровье не только людей, подвергающихся радиоактивному воздействию, но и последующих поколений, необходим контроль за содержанием радионуклидов на рабочих местах.**

В ряде случаев в результате извлечения из недр большого количества естественных радионуклидов угольные предприятия оказываются источниками радиационного загрязнения, опасного не только для персонала шахт, но и для всего населения городов и посёлков, где они расположены. На полях действующих шахт и разрезов или вне границ их размещения радиоактивные газы могут быть найдены в приповерхностных бытовых или технологических выработках, подвалах домов, в слабо проветриваемых, в том числе в жилых, помещениях.

В результате проведённых сотрудниками РосНИИГД измерений было установлено, что на поверхности земли, над отработанными угольными пластами, потоки радона зачастую усиливаются, значительно превышая допустимые санитарные нормы. Учитывая, что над

отработанными территориями угольных шахт нередко располагаются жилые дома и административные здания, необходим и поверхностный контроль за выделением радона, особенно в жилых домах, в которых возможна аэродинамическая связь с выработанным пространством.

В России изучена радиоактивность бурого угля в Забайкалье на месторождениях: Харанорском, Татауровском, Уртуйском, Кутинском, Окино-Ключевском.

Примером отработки угля с повышенным содержанием ЕРН может служить многолетний опыт, применяемый на Уртуйском месторождении. Промышленное освоение Уртуйского месторождения начато в 1986 г. Приаргунским производственным горно-химическим объединением (ОАО “ППГХО”). Геологоразведку Уртуйского месторождения проводило Сосновское ПГО, специализирующееся на поисках и разведке радиоактивного сырья, а разработку – ППГХО, основной деятельностью которого является добыча и переработка руд этих месторождений, что обусловило профессиональный подход к вопросу радиационной безопасности как при разведке и добыче угля, так и при его использовании.

Особенностью угля Уртуйского месторождения является весьма существенное изменение содержания в нём естественных радионуклидов (более чем в 100 раз), что обусловлено особенностями их накопления и перераспределения в процессе формирования угольного месторождения.

Уртуйский уголь по содержанию урана делится на 3 сорта:

1 сорт (потребительский уголь) с содержанием урана менее 0.001% (с удельной активностью до 123 Бк/кг);

2 сорт (энергетический уголь) – 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).

Уголь 1-го сорта можно использовать в бытовых целях: для сжигания в печах и котельных, не оборудованных специальными средствами улавливания золы.

Уголь 2-го сорта можно использовать в печах и на ТЭС, оборудованных средствами улавливания золы.

Комплексные угли не пригодны для энергетических целей. При их сжигании образующиеся зола и шлак имеют активность, при которой использование их недопустимо в строительных целях. Эти угли на Уртуйском месторождении складировались в специальных отвалах для длительного хранения, до решения вопроса об их утилизации.

Опыт отработки Уртуйского месторождения и сжигания угля на Краснокаменской ТЭЦ и в бытовых печах обозначил проблемы, связанные с обеспечением радиационной безопасности персонала и населения, а также пути их решения. Критериями подхода к решению проблемы стали требования норм радиационной безопасности о не превышении дозы облучения населения, равной 1 мЗв в год, и активности золошлаковых отходов, которые могут использоваться в строительных целях в населённом пункте. С этой целью создан пункт управления качеством угля по типу автомобильной радиометрической контрольной станции (РКС) для сортировки урановых руд, через который пропускают все без исключения углевозы.

ЕРН, содержащиеся в угле, при их сжигании на ТЭС и в быту концентрируются в золошлаковых отходах (ЗШО) и в газоаэрозольных выбросах. Количество радионуклидов, попадающих в атмосферу, зависит от концентрации их в угле, метода сжигания угля на ТЭС, а также от эффективности улавливания летучей золы. Хуже всего системами очистки дымовых газов ТЭС улавливаются самые мелкие частицы летучей золы. В них концентрация радионуклидов наиболее высока, соответственно

и удельная радиоактивность летучей золы возрастает с уменьшением размеров частиц золы. Поэтому выбрасываемая летучая зола имеет большую радиоактивность, чем зола, уловленная фильтрами ТЭС. При сжигании угля даже с низкими концентрациями радиоактивных элементов содержание урана и тория в летучей золе обычно увеличивается в 3–4 раза по отношению к исходному топливу, а в некоторых случаях наблюдается их 10-кратное увеличение.

Специалисты института угля и углехимии СО РАН отмечают, что максимальные содержания тория и урана в кузнечных углях составляют для тория – 42.96 г/т, а для урана – 16.4 г/т, что соответствует их содержанию в золошлаковом материале 320 г/т и 118 г/т. А в буром угле в пласте “Итатский” выявлено повышенное содержание урана – 139 г/т, а в золошлаковом материале, образующемся при сжигании такого угля, содержание урана составляет 902.6 г/т, в пересчёте на UO_2 – 1023.9 г/т (что соответствует содержанию урана 0.09% в тонне золошлакового материала). Такой золошлаковый материал по мировой классификации относится к рядовым урановым рудам (с диапазоном содержания урана 0.05–0.1%).

В табл. 2 представлены суммированные данные из многочисленных источников по диапазонам удельной радиоактивности разнообразных углей, сжигаемых на ТЭС и по концентрации радионуклидов в шлаках и летучей золе ТЭС. Из данных таблицы видно, что концентрации радионуклидов в шлаке и золе оказывается почти в 10 раз выше, чем в угле. Особенно высокие коэффициенты концентрирования имеют место у ^{210}Pb и ^{210}Po по сравнению с другими радионуклидами.

В настоящее время уголь сжигается на российских ТЭС без всякого радиационно-гигиенического контроля. При этом сжигается и определённое количество угля с высоким содержанием

Таблица 2

Концентрации радионуклидов в углях, шлаках и летучей золе ТЭС, Бк/кг

Изотоп	Уголь	Шлак	Летучая зола
²³⁸ U	9–31	56–185	70–370
²²⁶ Ra	7–25	20–166	85–281
²³² Th	9–19	59	81–174
⁴⁰ K	26–130	230–962	233–740
²³⁴ U	19	92	160
²²⁸ Th	1–20	56–81	15–130
²¹⁰ Pb	10–26	21–185	52–1813
²¹⁰ Po	41	13–185	196–466

ЕРН. ЗШО и летучая зола этих ТЭС, обогащённые в несколько раз радионуклидами, представляют несомненную опасность для окружающей среды, а золошлаковые отвалы таких ТЭС являются, по сути, техногенными месторождениями радионуклидов. Радионуклиды в продуктах сжигания попадают в биосферу и служат источником облучения людей.

Исследования, проведённые 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. Много, конечно, зависит от того, какой именно уголь использует конкретная ТЭС, а также от технологии подготовки угля и технологии его сжигания.

Значительная доля угля в России используется в домашнем хозяйстве для обогрева жилищ и приготовления пищи. Дымовые трубы бытовых печей очень низкие и не оборудованы системами золоулавливания, а плотность населения, проживающего вблизи этих источников, обычно очень высокая.

Известный профессор Л.Я. Кизильштейн отмечает, что при сжигании угля в небольших котельных и в жилищах людей, дым, насыщенный радионукли-

дами, стелется прямо над землей, и, по некоторым оценкам, такие выбросы могут воздействовать на население сильнее, чем выбросы крупных предприятий.

В материалах парламентского слушания “Об обеспечении радиационно-экологической безопасности в топливно-энергетическом комплексе”, проведённого 17 июня 1997 г. в комитете по экологии Государственной Думы, отмечено, что при использовании угля в быту предел дозы облучения 1 мЗв/год, рекомендованный Международным комитетом по радиационной защите, может оказаться превышенным уже при удельной активности радия и тория выше 50 Бк/кг. Зола такого угля нельзя использовать в строительстве жилых и общественных зданий. Начальник лаборатории радиационной экологии института ВНИИПТ И.В. Павлов считает, что, **учитывая сложность контроля за использованием подовой золы в быту, бесконтрольная продажа населению угля с высоким содержанием радионуклидов должна быть запрещена.**

В международном обзоре Научного комитета по действию атомной радиации при ООН отмечено, что на приготовление пищи и отопления жилых домов расходуется меньше угля, чем на ТЭС, но зато больше зольной пыли летит в воздух в пересчёте на единицу топлива. Таким образом, из печек и каминов всего мира вылетает в атмосферу зольной пыли, возможно, не меньше, чем из труб электростанций.

Директор центра радиационной безопасности Минэнерго России Шрамченко А.Д. в 2000 г. отметил, что в России отсутствует норматив по содержанию природных радионуклидов в угле, предназначенном для сжигания в отопительных котельных и бытовых печах, хотя вклад в дозовую нагрузку населения по этому фактору весьма значительный и составляет около 40% общей дозовой нагрузки.

На основании анализа опубликованных в литературных источниках результатов исследований радиационных выбросов от угольных ТЭС, использующих уголь различных месторождений, в том числе и Забайкальских, делаются следующие выводы.

Недостаточно изучены проблемы радиоактивности угля и крайне слабо изучены радиозэкологические проблемы, связанные с его добычей, транспортировкой и сжиганием. Как в России, так и за рубежом, слабо изучены угольные месторождения на наличие ЕРН (исключение составляет уран), а имеющиеся материалы по изучению ЕРН в угле, к сожалению, не дают полного представления о характере их распределения, формах нахождения, генезисе и уровнях накопления ни в одном из угольных бассейнов.

Имеющиеся результаты проведённых полевых и лабораторных исследований для угольных ТЭС показали, что их выбросы оказывают влияние на формирование радиационной обстановки в районах расположения, являются источником радиоактивного загрязнения окружающей среды и облучения людей. Обусловлено это тем, что в России угольная продукция по радиационно-экологической безопасности не нормируется. Авторами не найдены и зарубежные нормативные документы, регламентирующие добычу и использование угля с повышенным содержанием ЕРН. Отсутствуют и методики отработки и управления качеством угля по радиационным параметрам, что приводит к его бесконтрольному сжиганию. В результате содержание ЕРН в добываемом угле, как правило, не контролируется, и уголь с повышенным их содержанием поступает к потребителю, что приводит к дополнительной нагрузке на окружающую среду за счёт выбросов из труб радиоактивных аэрозолей и образования

зола с повышенным содержанием ЕРН. Исследования, проведённые во многих странах, показали, что радиоактивность почв и воздуха на территориях, прилегающих к угольным ТЭС, порой в десятки раз превышает не только фоновые, но даже предельно допустимые значения, а образующиеся зола и шлак, обогащённые в несколько раз естественными радионуклидами, накапливаются на огромных территориях, образуя с годами, по сути, техногенные месторождения ЕРН.

Опыт разработки Уртуйского угольного месторождения и использования уртуйского угля указывает на возможность создания эффективной системы контроля качества угля по радиационно-гигиеническому фактору и обеспечения охраны окружающей среды и здоровья населения. Но это только первый шаг в решении данной проблемы. Для снижения облучения персонала и населения, проживающего в районах расположения угольных предприятий и угольных ТЭС, необходимо организовать тщательный контроль как за содержанием ЕРН в энергетическом угле, так и за продуктами его сжигания. Решение проблемы радиоактивности угля в нашей стране требует централизованного подхода и создания соответствующей нормативной базы. Между тем, нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) в России ограничивают только применение шлаков в строительных целях. Уголь по радиационному признаку не нормируется.

Не на всех угольных месторождениях России имеются участки с повышенным содержанием ЕРН, но определять это необходимо уже на стадиях разведки. Если при проведении геологоразведочных работ такие участки выявляются, то применение предлагаемой системы радиационного контроля углей на стадии отработки месторождений позволит снизить до минимума их попадание в топливный цикл и в окружающую среду.