

фракции — с 45 до 230. При этом песчаная фракция грунта очищается до остаточной удельной активности $\sim 0,3$ кБк/кг, при которой возможно ее ограниченное использование на территории предприятия или проведение дополнительной стадии реагентной обработки [7]. Полученный за две стадии обработки максимальный коэффициент очистки в 2 раза превышает аналогичный показатель 118, достигнутый за четыре стадии обработки при 90°C и одинаковом составе реагента $2\text{M H}_2\text{SO}_4$ [5]. Это позволяет за счет повышения температуры до 160°C сократить число стадий дезактивации грунта.

Из представленных данных следует, что удаление шламовой фракции дополнительно в среднем в 3 раза повышает коэффициент очистки грунта. Это повышение не зависит от температуры в изучаемом интервале. Доля выделяемой шламовой фракции в экспериментах составила 8—9% (см. таблицу). Это имеет принципиальное значение, так как именно она, в основном, определяет, во сколько раз при очистке сокращается объем радиоактивных отходов, что является главной целью дезактивации. При очистке грунта по совмещенной схеме, сочетающей реагентную обработку и фракционирование, образуются очищенная песчаная ($\sim 90\%$), загрязненная шламовая фракция ($\sim 8\%$) и радиоактивный концентрат ($\sim 2\%$) в результате переработки технологических (выщелачивающих) растворов осадительным способом путем добавления ферроцианида калия для перевода цезия в осадок или сорбционным с использованием селективного сорбента НЖА (ферроцианид никеля—калия на алюмосиликате).

Таким образом, эксперименты показали эффективность автоклавного выщелачивания при 160°C для дезактивации грунта, загрязненного ^{137}Cs . Определены оптимальные условия очист-

ки: состав реагента, температура и продолжительность обработки. Сочетание реагентной обработки при выбранных условиях с гидросепарационным удалением шламовой фракции позволяет достигать коэффициента очистки 230 при 10-кратном сокращении объема радиоактивных отходов. Реализация совмещенной технологии дезактивации грунта позволит значительно повысить показатели очистки, даст возможность ее применения при более высоком уровне радиоактивного загрязнения и тем самым расширит спектр перерабатываемых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прозоров Л.Б., Щеглов М.Ю., Николаевский В.Б. и др. Разработка технологии реагентной дезактивации грунтов. Тезисы докл. XI Межд. экологического симп. «Урал атомный. Урал промышленный». Екатеринбург, 2005, с. 96—97.
2. Дмитриев С.А., Николаевский В.Б., Прозоров Л.Б., Щеглов М.Ю. Способ очистки грунтов от радионуклидов цезия. Патент RU 2274915 C1, МПК G21F9/28. — Бюл. «Изобретения. Полезные модели», 2006, № 11, ч. 2, с. 525.
3. Чиркст Д.Э., Чалиян К.Н., Чалиян А.Г. Дезактивация почвогрунтов, загрязненных радионуклидами цезия в результате аварии на ЧАЭС. — Радиохимия, 1994, т. 36, № 5, с. 462—465.
4. Прозоров Л.Б., Комарова Н.И., Молчанова Т.В. Использование фторида аммония для кислотной дезактивации грунтов, загрязненных ^{137}Cs . — Там же, 2002, т. 44, № 5, с. 470—474.
5. Дмитриев С.А., Баринев А.С., Купцов В.М. Поэтапная дезактивация песчаного грунта, загрязненного ^{137}Cs . — Атомная энергия, 2011, т. 111, вып. 1, с. 29—33.
6. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике почв. М.: Недра, 1975. 304 с.
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). Санитарные правила и нормативы. М.: Фед. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 83 с.

Поступила в Редакцию 21.08.12

УДК 620.9.001.12/18

РАДИОАКТИВНОСТЬ УГЛЕЙ И ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС

Крылов Д.А. (НИИ «Курчатовский ин-т», г. Москва), Сидорова Г.П. (Забайкальский гос. ун-т, г. Чита)

Содержание природных радионуклидов является одним из показателей качества угля, влияющих на радиоэкологическую безопасность. Энергетика, использующая уголь, отно-

сится к числу наиболее крупных источников загрязнения окружающей среды. Удельная активность природных радионуклидов в углях отдельных месторождений различается в 100—

1000 раз и более [1]. В целом среднее содержание ^{238}U и ^{232}Th оценивается 20 Бк/кг, ^{40}K — 50 Бк/кг. При наличии в районах угольных месторождений урановых аномалий вариации удельной активности природных радионуклидов составляют $(3,6—8,4)10^4$ Бк/кг.

В нашей стране детально изучена радиоактивность бурого угля Забайкалья на Окино-Ключевском, Татауровском, Харанорском, Уртуйском, Кутинском месторождениях (табл. 1).

Примером отработки угля с повышенным содержанием природных радионуклидов может служить Уртуйское месторождение, освоение которого началось в 1986 г. Приаргунским производственным горно-химическим объединением [2]. Геологоразведку месторождения проводило Сосновское производственное геологическое объединение, специализирующееся на поиске и разведке радиоактивного сырья, разработку — Приаргунское производственное горно-химическое объединение.

Опыт отработки Уртуйского месторождения и сжигания угля на Краснокаменской ТЭЦ и в бытовых печах обозначил проблемы, связанные с радиационной безопасностью персонала и населения. Критериями стали требования норм радиационной безопасности не превысить дозу облучения населения 1 мЗв в год и удельную активность золошлаковых отходов, которые можно использовать в строительных целях в населенном пункте, не более 370 Бк/кг. Обоснования выполнены ВНИПИПромтехнологии. В расчетах учитывали условия сжигания угля и рассеяния природных радионуклидов, закономерности поступления радиоактивных веществ по ингаляционной и пищевой цепочкам в организм животных и человека. На основе расчетов выведены формулы для определения дозы облучения человека, активности золошлаковых

ковых отходов и предельных норм выбросов радиоактивных веществ. Результаты исследований получили положительное заключение Института биофизики, НИИ радиационной гигиены и Федерального управления медико-биологических проблем при Минздраве РФ и стали основой для организации системы контроля качества угля по радиационно-гигиеническому фактору. С этой целью создан опытный пункт управления качеством по типу автомобильной радиометрической контрольной станции для сортировки урановых руд. Для достижения необходимой чувствительности аппаратура радиометрической контрольной станции была модернизирована. Через опытный пункт стали пропускать все без исключения углевозы и сортировать уголь по радиационно-гигиеническому фактору — допустимой дозе облучения населения.

Кроме радиометрической станции, в систему геофизического контроля качества вошли γ -опробование забоев экскаваторов и штабелей угля, а также γ -каротаж эксплуатационно-разведочных скважин. Для этих целей увеличена чувствительность приборов, которые применяют для работ при добыче урана. При радиометрической сортировке выделены комплексные угли, которые невозможно расшихтовать до допустимых пределов и направить на ТЭЦ для сжигания. Научно-исследовательской лабораторией Приаргунского производственного горно-химического объединения изучены возможности получения из таких углей и продуктов их сжигания урановой продукции. По результатам опытных работ установлено низкое извлечение урана, что делает нерентабельным использование этого сырья. Одновременно расчеты показали, что отсортированный уголь не подпадает под статус радиоактивных отходов.

Т а б л и ц а 1. Содержание радиоактивных элементов в месторождениях Забайкалья, в золе и шлаке при их сжигании, г/т

Месторождение	^{238}U			^{226}Ra			^{232}Th			^{40}K		
	Уголь	Зола	Шлак	Уголь	Зола	Шлак	Уголь	Зола	Шлак	Уголь	Зола	Шлак
Окино-Ключевское	4,7	43	32	1,7		3,5	1,2		2,4	6,6		5,5
Татауровское	4,8	42	36	2,1		13	1,8		7,1	6,9		13
Харанорское	5,8	53	46	2	28	25	1,6	12	11	2,1	13	10
Уртуйское	18	62	66	3,5	43	64	2,8	13	14	13	70	80
Кутинское	27	71	56	2,5		8,8	2,2		3,8	14		10

Уголь Уртуйского месторождения по содержанию урана разделен на три сорта: уголь 1-го сорта (потребительский) с содержанием урана менее 0,001% можно применять в бытовых целях, 2-го сорта (энергетический) с содержанием урана 0,001—0,01% — на ТЭС, 3-го сорта (комплексный) с концентрацией урана более 0,01% следует хранить в специальных отвалах до принятия решения об использовании. До 1995 г. в специальных отвалах с прикрытием поверхности инертным материалом из вскрышных пород было складировано 750 тыс. т. Уголь, поставляемый потребителям, сертифицирован региональным центром санэпиднадзора. Его удельная активность составляет в среднем 77,5 Бк/кг, что соответствует классу 1 материалов по СанПиН 2.6.1.2523—09.

Исследованиями Томского университета изучена геохимия радиоактивных элементов угольных месторождений 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, тория — от 0,8 до 32 г/т [3].

Средневзвешенное содержание урана в углях Сибирского региона с учетом ресурсов Западно-Сибирского угольного бассейна составляет 1,5 г/т, что соответствует мировой средней концентрации урана в буром угле мира. Средняя оценка содержания тория для углей Сибири равна 2,4 г/т. Участки высокорadioактивного угля известны в месторождениях Иркутского и Канско-Ачинского угольных бассейнов, а также в месторождениях Забайкалья. В западной части Канско-Ачинского угольного бассейна содержание урана в угле в среднем составляет 4,9 г/т.

Угли Кузнецкого угольного бассейна в среднем характеризуются как низкорadioактивные. Однако почти на всех разрезах имеются локальные участки с повышенным содержанием радия.

Содержание урана и тория в добываемых углях Кемеровской области находится в пределах допустимых значений, за исключением шахт Бутовская, им. Димитрова, им. Шевякова и разреза Итатский [4]. Из табл. 2 видно, что содержание урана в углях Итатского месторождения значительно превышает характерное 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.

Таблица 2. Содержание урана и тория в угле, добываемом в Кемеровской области

Шахта, разрез	Уран	Торий
Бутовская	4 (0,31—6,8)	8,5 (7,8—9,5)
Им. Димитрова	4,9	—
Им. Шевякова	3,2 (0,31—24,2)	15,8 (3,75—85,8)
Разрез Итатский	56,9 (6—139)	2,4 (0,2—9,9)

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

Радиационные выбросы ТЭС, работающих на угле разных месторождений. Радиоактивность угольной золы обусловлена, в основном, ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K . При сжигании угля на ТЭС за счет выгорания углерода и удаления летучих соединений концентрируются микроэлементы, в том числе и радионуклиды в продуктах сгорания. Попадая в атмосферу, они рассеиваются, образуя сложное объемное поле, в пределах которого концентрация веществ уменьшается от максимальной на выходе из трубы до минимальной фоновой.

По результатам радиоэкологического обследования Несветайской и Новочеркасской ГРЭС [1], работающих на угле Восточного Донбасса, оценена плотность загрязнения за период их эксплуатации. Так, для зоны максимального загрязнения в радиусе 0,4—1 км вокруг Несветайской ГРЭС концентрация ^{238}U составила более 9000 МБк/км², ^{226}Ra — более 333 МБк/км², ^{210}Pb — ~1073 МБк/км². По результатам исследований сделаны следующие выводы:

распределение ^{238}U , ^{226}Ra и ^{232}Th по земной поверхности в зависимости от расстояния от труб ТЭС имеет характерный для зольных выбросов вид;

среднее загрязнение земной поверхности природными радионуклидами, кроме ^{222}Rn и ^{210}Pb , существенно выше в ближней зоне (0,3—3 км): для Несветайской ГРЭС в среднем в 1,29 раза, Новочеркасской ГРЭС — в 1,35 раза. В целом выбросы этих ГРЭС оказывают существенное влияние на формирование радиационной обстановки в районе расположения.

Установлено, что удельная радиоактивность летучей золы возрастает с уменьшением размеров частиц [5]. Поэтому радиоактивность выбрасываемой в атмосферу летучей золы с меньшим размером частиц больше по сравнению с

золой с более крупными частицами, уловленными природоохранным оборудованием на ТЭС [6]. Исследования показывают, что концентрация радионуклидов в шлаке и золе почти в 10 раз выше, чем в угле (табл. 3). Даже при сжигании угля с небольшим содержанием урана и тория, использовании полученных золошлаков для отсыпки дорог и в качестве искусственных грунтов радиоактивный фон относительно местного возрастает в 2—3 раза.

Таблица 3. Концентрация радионуклидов в угле, шлаке и летучей золе ТЭС, Бк/кг [6]

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

Из табл. 4 следует, что при сжигании угля на ТЭС в летучей золе концентрируются уран и торий. Увеличение концентрации тория колеблется от 1,7—2,1 (Луганская, Кураховская ТЭС) до 11—13,6 (Владимирская ТЭЦ-1, Московская ТЭЦ-22), урана — от 1,1—1,4 (Мироновская, Кураховская ТЭС) до 3,5—3,85 (Московская ТЭЦ-22, Зуевская ТЭС).

Таблица 4. Содержание тория и урана в угле и летучей золе ТЭС, г/т [7]

ТЭС (ТЭЦ)	Уголь		Летучая зола	
	Торий	Уран	Торий	Уран
Углегорская	8,8	3,0	37,2	7,6
Зуевская	6,0	2,7	56,0	10,4
Кураховская	7,8	2,1	16,7	2,9
Мироновская	11,3	3,8	32,4	4,2
Новочеркасская	3,4	1,4	33,0	5,2
Луганская	10,3	2,1	17,8	4,5
Шахтинская	4,6	2,6	23,9	7,0
Московская ТЭЦ-22	3,8	1,4	51,5	4,9
Владимирская ТЭЦ-1	2,4	1,6	25,9	2,9

Радиационная безопасность ТЭС, работающих на угле. При работе ТЭС содержащиеся в угле радионуклиды с продуктами их сжигания (золошлаковыми отходами и газоаэрозольными выбросами) попадают в биосферу и служат источником облучения людей. Опасность для окружающей среды, особенно при

повышенной радиоактивности золы (выше 370 Бк/кг), может представлять также пылеунос с золоотвалов.

Загрязнение золошлаковых отходов природными радионуклидами отдельных ТЭС (исследовали около 50 ТЭС, на которых использовались 20 видов угля) иногда достигает 520 Бк/кг [8]. Природные радионуклиды из золоотвалов могут попадать в организм людей по пищевым цепочкам и при их размытии водой. Компоненты золы, попавшие при дыхании в легкие, поступают в кровь и проникают в ткани, вызывая заболевания. Особый вред при этом наносят химические элементы, способные испускать α -частицы, — торий и уран.

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

В заключение следует отметить, что в нашей стране содержание природных радионуклидов в добываемом угле, за исключением Уртуйского месторождения, не контролируется и уголь с повышенным содержанием природных радионуклидов поступает к потребителю, что приводит к дополнительной нагрузке на окружающую среду за счет выбросов радиоактивных аэрозолей и образования золы. Для снижения облучения персонала и населения, проживающего в районе расположения угольных предприятий и ТЭС, необходим контроль как за содержанием природных радионуклидов в угле, так и за выбросами в атмосферу.

Решение проблем требует централизованного подхода и создания нормативной базы. Нормы радиационной безопасности НРБ-99 ограничивают только применение шлаков в строительных целях. Уголь по радиационному признаку не нормируется. Опыт разработки Уртуйского месторождения показывает возможность создания эффективной системы контроля качества угля по радиационно-гигиеническому фактору и обеспечения охраны окружающей среды и здоровья населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов М.Г., Тимонина Ю.А. Радиационная обстановка в районе расположения ГРЭС Ростовской области. — Теплоэнергетика, 2003, № 12, с. 8—13.
2. Суханов Р.А., Сидорова Г.П. Проблемы использования углей с повышенной радиоактивностью. — Горный журнал, 2009, № 2, с. 43—45.
3. Арбузов С.И., Волостнов А.В., Машенькин В.С. Радиогеохимическая характеристика углей Северной Азии. — Энергетик, 2010, № 3, с. 2—8.
4. Исхаков Х.А., Счастливцев Е.Л., Кондратенко Ю.А., Лесина М.Л. Радиоактивность углей и золы. — Кокс и химия, 2010, № 5, с. 41—45.
5. Хедвал Р., Эрландсон Б. Концентрация радиоактивности в неядерных отраслях промышленности. — Бюл. Центра обществ. информ. по атомной энергии, 1998, № 2, с. 26—30.
6. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля. Пер. с англ. Под ред. Ф. Уоррена, Р. Харрисона. М.: Мир, 1999. 512 с.
7. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицглюз А.Л., Парарада С.Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1995. 176 с.
8. Бельюсенко 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 в Редакцию 27.03.12

УДК 621.039.7

ЛОКАЛИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНОГО ПАРА ПОСЛЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КЛАПАНОВ НА ВОДО-ВОДЯНОМ РЕАКТОРЕ

Курский А.С., Калыгин В.В., Семидоцкий И.И., Михайлов П.А. (ОАО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград)

Концепция радиационной безопасности водо-водяных реакторов АЭС различных типов заключается в соблюдении надежных барьеров на пути распространения радиоактивных веществ. В случае срабатывания предохранительных клапанов теплоноситель попадает в защитную оболочку, где происходит дальнейший распад радиоактивных изотопов. Сброс теплоносителя через предохранительные клапаны водо-водяного реактора при пароциркониевой реакции может привести к образованию взрывоопасной концентрации водорода в защитной оболочке. Пассивные каталитические рекомбинаторы водорода не утилизируют взрывоопасный газ во влажной парогазовой смеси. Образование «гремучей» смеси может привести к разрушению защитной оболочки.

На исследовательском корпусном кипящем реакторе ВК-50 сооружена и опробована система локализации пара после предохранительных клапанов и отведения выбрасываемой среды за пределы защитной оболочки. Эта система разработана с учетом исследований сжигания радиолитического водорода. Она утилизирует радиоактивные газы и при наличии негерметичных твэлов в активной зоне. Опыт эксплуатации этой системы на ВК-50 показал правильность технических и технологических решений, которые были положены в основу ее разработки.

Система локализации пара после предохранительных клапанов. Реакторная установка ВК-50 — это опытно-промышленный энергоблок, созданный для изучения работоспособности, надежности, безопасности, экономичности корпусного кипящего реактора с всережимной естественной циркуляцией теплоносителя и выдачей пара из реактора на турбину [1]. На ВК-50 разработаны, испытаны и усовершенствованы системы безопасности, основанные на пассивных принципах гравитации, радиационной и взрывобезопасности при кипении теплоносителя в активной зоне [2], в том числе система выброса пара через предохранительные клапаны в атмосферу. Сброс парогазовой смеси за пределы установки должен исключить образование взрывоопасной концентрации водорода и в реакторе, и в трубопроводах после предохранительных клапанов.

Снижение активности выбросов в окружающую среду обеспечивается использованием эффекта межфазного барьера (вода—пар), слабопроницаемого для распространения за пределы реактора радиоактивных продуктов коррозии [3]. С влагой уносятся γ -излучающие продукты коррозии ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{51}Cr , ^{54}Mn . Низкий уровень радиоактивности в паре обусловлен тем, что продукты коррозии преимущественно находятся в виде взвешенных частиц, которые выно-