

Г.П. Сидорова, Д.А. Крылов

ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ В УГОЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Приведен аналитический материал по содержанию естественных радионуклидов (ЕРН) в углях различных месторождений (отечественных и зарубежных). Отмечено, что не все угольные месторождения содержат повышенное содержание ЕРН, но в тех или иных количествах они содержатся во всех углях. Радиационная опасность угольных ТЭС, связанная с ЕРН, — одна из важнейших проблем угольной энергетики. Источниками загрязнения ТЭС являются выбросы золы в атмосферу, жидкие сбросы, а также твердые отходы, оставшиеся после сжигания угля, т.е. зола и шлак. Количество радионуклидов, выходящих в атмосферу, зависит от концентрации их в угле, метода сжигания угля на ТЭС, а также от эффективности улавливания летучей золы. Слаболетучие соединения накапливаются в золе и шлаке, а более летучие — перемещаются с дымовыми газами. Удельная радиоактивность летучей золы возрастает с уменьшением размеров частиц золы. Поэтому выбрасываемая летучая зола, имеющая меньшие размеры частиц, по сравнению с более крупными частицами, уловленным природоохранным оборудованием, имеет большую радиоактивность, чем зола, уловленная фильтрами ТЭС.

Ключевые слова: уголь, золошлаковые отходы ТЭС, естественные радионуклиды, радиационная опасность, источники загрязнения.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209

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 .

Уран является наиболее изученным из группы естественных радионуклидов (ЕРН) в углях. Остальные радиоактивные элементы изучены слабо и только на отдельных угольных месторождениях.

По данным известного российского геохимика Я.Э. Юдовича [1], кларковое (среднее) содержание урана в бурых углях составляет — $2,7 \pm 0,3$ г/т, в каменных углях $1,9 \pm 0,1$ г/т; содержание тория для бурых углей — $3,8 \pm 0,2$ г/т, каменных —

$3,1 \pm 0,1$ г/т. Таким образом, бурые угли обогащены ураном и торием больше, чем каменные угли.

Концентрация радионуклидов в разных угольных пластах в мире различается в сотни и тысячи раз. Угли, содержащие уран в концентрациях на один два порядка выше кларка, известны во многих странах. Удельная активность естественных радионуклидов (ЕРН) в углях различных месторождений может отличаться в 100—1000 раз и более (например, удельная активность ^{238}U варьируется в пределах 0,6—3600 Бк/кг при среднем содержании 18—28 Бк/кг), а при наличии в районах угольных месторождений урановых аномалий $3,6 \div 8,4 \cdot 10^4$ Бк/кг [2].

В монографии томских ученых [3], приведена информация по содержанию

Таблица 1

Содержание урана и тория в углях некоторых месторождений мира, г/т

Объект исследования	Уран	Торий	Источник информации
Турция, бурые угли	0,21–64	0,29–8,5	Bouska a.e, 1994
Австралия, бурые угли	0,04–4,3	0,4–17	Bouska a.e, 1994
Канада, каменные угли	0,07–7,5	0,3–11	Van der Flier e.a. 1985
Испания, лигниты	до 298		Martin e.a., 1970
Испания, суббитуминозные угли	6,1	5,6	Querol a.e. 1995
США, месторождения Среднего Запада	1,06–40,4	0,89–2,05	D.R, Provance a.e., 1990
США, восточная часть	1,5	4,4	Ruch a.e., 1976
США, бассейн Вермон-Крик	9–20		Leventhal a.e., 1987

урана и тория в углях некоторых угольных месторождений мира. В табл. 1 представлены данные из этой работы.

Из табл. 1 видно, что высокие содержания урана зафиксированы: в бурых углях Турции — до 64 г/т, для углей Среднего Запада США — 40,4 г/т и очень высокое содержание урана отмечено для лигнитов Испании — до 298 г/т.

Высокие содержания тория зафиксированы в бурых углях Австралии — 17 г/т и в каменных углях Канады — 11 г/т.

По оценкам специалистов содержание урана в углях в большей части угольных месторождений России не превышает кларкового, но имеются месторождения, в которых оно превышено в несколько раз.

В исследованиях, проведенных учеными Томского университета, изучена геохимия радиоактивных элементов в углях 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, а тория — от 0,8 до 32 г/т» [4]. Средневзвешенное содержание урана в углях Сибирского региона составляет 1,5 г/т. Эта цифра соответствует среднему геометрическому содержанию урана в бурых углях мира. Средняя оценка содержания тория для углей Сибири составляет 2,4 г/т» [4]. При этом средние содер-

жания урана и тория в углях Кузбасса соответствует величинам: для урана — 2,8 г/т, тория — 3,4 г/т [4].

Легко подсчитать, что при использовании этих значений удельных величин по среднему содержанию урана и тория, в 215,8 млн т угля, добытого в Кузбассе в 2015 г., содержится 604 т урана и 734 т тория.

Согласно нашему расчету из 604 т урана теоретически можно изготовить ядерное топливо, которого могло бы хватить на 3 года реактора ВВЭР-1000. Это соответствует, например, работе одного энергоблока Ростовской АЭС мощностью 1000 МВт в течение 3-х лет. В расчете мы приняли обычные условия для реакторов ВВЭР-1000: обогащение топлива по ^{235}U — 4,4% и ежегодную перегрузку одной трети зоны из активной зоны реактора, т.е. примерно 23 т; следовательно, ежегодно на создание одной перегрузки реактора ВВЭР-1000 потребуется 170 т природного урана.

В [5] указано на то, что кузнецкие угли различного марочного состава существенно отличаются по уровням накопления радиоактивных элементов. Более высокие средние содержания урана в кузнецких углях установлены в углях Д, Г, ОС, в углях марок ГЖ, Ж, К, СС содержания урана минимальны. Наиболее низкими уровнями накопления тория характеризуются угли марок Д, Г, А, а наиболее

высокими — ГЖ, КЖ, ОС, СС. При этом в [5] отмечено, что средние концентрации радиоактивных элементов в углях Кузбасса «ниже, чем в углях Донбасса, Печерского и Минусинского бассейнов, и выше, чем в углях Дальнего Востока и Тувы».

Практически на всех разрезах в Кузнецком бассейне имеются локальные участки окисленных углей. Они требуют специального обращения, так как часто характеризуются аномально высокими активностями ^{226}Ra . Для углей Канско-Ачинского бассейна (Березовский и Назаровский разрезы) также были установлены товарные угли с повышенной активностью радия. При их сжигании образуются высокорadioактивные золошлаковые отходы, которые могут оказаться причиной дополнительного облучения персонала угледобывающих предприятий и населения [6].

Учеными Томского политехнического университета установлено, что в некоторых угольных месторождениях Канско-Ачинского района содержание урана в углях достигает первых сотен грамм на 1 т угля [7]. «Это ставит вопрос о невозможности использования подобных углей в качестве энергетических без предварительной обработки или принятия мер по улавливанию этих радиоактивных элементов».

В [3] авторы исследования показали, что при сравнении данных по углям

Кузбасса и Донбасса угли Сибири более чем в 5 раз обеднены ураном (по радию) и в 2 раза — торием.

По данным исследований специалистов института угля и углехимии (ИУУ СО РАН) [8], максимальные содержания тория и урана в кузнецких углях составляют: — для тория 42,96 г/т; для урана — 16,4 г/т, что соответствует их содержанию в золошлаковом материале — 320 г/т и 118 г/т.

В монографии [2] указано, что наилучшие показатели в радиационном плане имеют бурые угли Канско-Ачинского угольного бассейна, добываемые на Итатском разрезе: — среднее содержание урана в углях и вмещающих породах Итатского месторождения составляет 56,9 г/т, вариации (6—139) г/т, а тория — 2,4 (0,2—9,9) г/т соответственно.

Естественные радионуклиды (ЕРН), содержащиеся в углях, при их сжигании на ТЭС концентрируются в золошлаковых отвалах (ЗШО) и в летучей золе. Так по оценке в [6] коэффициент концентрации ЕРН в ЗШО для урана и тория при сжигании кузнецких углей колеблется от 1,5—2 до 10—15 и зависит от полноты озоления угля, марочного состава и зольности угля.

В табл. 2 представлены суммированные данные по диапазонам радиоактивности разнообразных углей, сжигаемых на ТЭС и по концентрации радионуклидов в шлаках и летучей золе ТЭС [9].

Таблица 2

Концентрации радионуклидов в углях, шлаках и летучей золе, 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

Таблица 3

Среднее содержание урана и тория в пластовых пробах кузнецких углей и среднее содержание урана и тория в золошлаковом материале

Элементы	Количество проб	В угле, г/т	В золошлаковом материале, г/т
Торий	405	4,198	31,3
Уран	333	4,125	29,59

Для всех радионуклидов, приведенных в табл. 2, их концентрации в шлаке и золе почти в 10 раз выше, чем в угле. «При этом Th, U и Ra распределяются довольно равномерно, тогда как ^{210}Pb и ^{210}Po обогащают наиболее тонкие частицы летучей золы, иногда даже в шесть раз» [9].

В табл. 3 представлены результаты геохимических исследований, проведенные специалистами ИУУ СО РАН, по средним содержаниям урана и тория в кузнецких углях и по их средним содержаниям в золошлаковом материале [10]. Из табл. 3 видно, что концентрация урана и тория в золошлаковом материале выше в 7 раз, чем в угле.

В табл. 4 представлены данные по содержанию урана и тория в товарной продукции ряда угольных предприятий в Кузбассе, где выявлены повышенные содержания урана и тория в углях и в золах этих углей [10].

Из данных в табл. 4 видно, что концентрация урана и тория в золе оказалась выше в 3–5 раз, чем в углях, добываемых на этих шахтах.

В бурых углях в пласте «Итатский» «выявлено содержание урана — 139 г/т, а в золошлаковом материале, образующемся при сжигании такого угля, содержание урана — 902,6 г/т, в пересчете на UO_2 — 1023,9 г/т» [8].

Такой золошлаковый материал с концентрацией в нем урана 902,6 г/т (что соответствует содержанию урана 0,09% в тонне золошлакового материала) по мировой классификации относится к рядовым урановым рудам (с диапазоном содержания урана 0,05–0,1%).

Количество радионуклидов, выходящих в атмосферу, зависит от концентрации их в угле, метода сжигания угля на ТЭС, а также от эффективности улавливания летучей золы. Слаболетучие соединения накапливаются в золе и шлаке, а более летучие — перемещаются с дымовыми газами. Из литературы известно, что удельная радиоактивность летучей золы возрастает с уменьшением размеров частиц золы. Поэтому выбрасываемая летучая зола, имеющая меньшие размеры частиц, по сравнению с более крупными частицами, уловленным при-

Таблица 4

Содержание урана и тория в товарной продукции ряда угольных предприятий в Кемеровской области

Шахта	Содержание урана в угле, г/т	Содержание урана в золе, г/т	Содержание тория в угле, г/т	Содержание тория в золе, г/т
Им. Волкова			9,6	36,2
Бирюлинская	9,0	28,0		
Березовская			7,2	27,6
Ягуновская			9,8	53,0
Бутовская	5,9	17,9	7,9	24,0

Таблица 5

Содержание тория и урана в углях и в летучей золе ТЭС, г/т

Название ТЭС (ТЭЦ)	в угле		в летучей золе ТЭС	
	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 ТЭЦ	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

родоохранном оборудовании, имеет большую радиоактивность, чем зола, уловленная фильтрами ТЭС.

В табл. 5 приведены данные по содержанию тория и урана в углях, использованных на ряде ТЭС СССР и в летучей золе этих ТЭС при сжигании на этих электростанциях углей различных месторождений [11].

Из табл. 5 видно, что при сжигании углей на ТЭС в летучей золе происходило концентрирование урана и тория. Коэффициент концентрации для тория колеблется от 1,7–2,1 (Луганская ТЭС и Кураховская ТЭС) до 11–13,6 (Владимирская ТЭЦ-1 и Московская ТЭЦ-22). Коэффициент концентрации для урана колебался от 1,1–1,4 (Мироновская ТЭС и Кураховская ТЭС) до 3,5–3,85 (Московская ТЭЦ-22 и Зуевская ТЭС).

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) значений.

Известный отечественный геохимик, профессор Л.Я. Кизильштейн, отмечает, что компоненты золотых частиц, попавших при дыхании в легкие, поступают

в кровь и проникают в ткани, вызывая серьезные заболевания. Особый вред наносят при этом химические элементы, способные испускать альфа-частицы, а к ним относятся как торий, так и уран. Облучение людей особенно опасно, когда радионуклиды вместе с пищей или во вдыхаемом воздухе попадают внутрь; тогда при прочих равных условиях особое значение приобретает скорость их выведения из организма. Установлено, что почти весь торий, поступающий в организм с атмосферным воздухом, накапливается в костях скелета и костном мозге. Период его биологического полувыведения (то есть уменьшения содержания элемента на 50% после однократного поступления) составляет десятки лет [12].

Уран тоже концентрируется в костях, а кроме того в легких, но выводится из скелета заметно быстрее — его содержание уменьшается вдвое за 450 суток [12].

Свойство ^{232}Th накапливаться в костном мозге — кроветворном органе, а также большой период полураспада определяют его повышенную опасность. Несмотря на то, что концентрация урана в ископаемых углях обычно выше, чем тория, по способности к биологическому накоплению он уступает торью, да и как излучатель уран менее активен [12].

Проведенные исследования показали, что область превышения допустимых концентраций ^{232}Th и ^{238}U в приземном слое воздуха охватывает территорию в несколько сот квадратных километров. По мере приближения к ТЭС эти превышения становятся все больше и вблизи электростанции превосходят нормативы для урана в десять, а для тория даже в несколько десятков раз [12].

По результатам радиэкологических обследований, проведенных сотрудниками НИИ Физики при Ростовском государственном университете, на Несветайской и Новочеркасской ГРЭС, работающих на углях Восточного Донбасса, показано, что удельные активности ЕРН в летучей золе превышают их средние значения в почве для ^{232}Th — в 1,5–2,0 раза, для ^{226}Ra и ^{40}K — в 4–5 раз, а для ^{238}U и ^{210}Pb — в 10–20 раз [13].

В обзоре Научного комитета по действию атомной радиации при ООН приводится информация о том, что производство 1 ГВт · год электроэнергии обходится человечеству в 2 чел · Зв ожидаемой коллективной эффективной эквивалентной дозы облучения [14].

По оценке, приведенной в [15], при сжигании угля на ТЭС в количестве 2,6 млрд т, ожидаемая коллективная доза от всех работающих в мире на угле ТЭС составила около 2000 чел · Зв».

По мнению специалистов, наличие золошлаковых отвалов вокруг ТЭС может приводить к техногенно-усиленному радиационному фону и, как следствие, к дополнительному облучению персонала ТЭС и населения [6].

Так как радионуклиды концентрируются в продуктах сжигания с достаточно высокими коэффициентами концентрации, это приводит к тому, что даже при использовании шлаков, полученных при сжигании углей с фоновым содержанием урана и тория, для отсыпки дорог и в качестве искусственных грунтов, радио-

активный фон возрастает в два-три раза относительно местного фона [7].

По оценке ОАО «ВТИ» [2] при сжигании на ТЭС березовского угля Канско-Ачинского месторождения, подмосковного и азейского углей удельная эффективная активность ЕРН, (определенная по основным радиоактивным составляющим: ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) в некоторых пробах ЗШО составляет, в порядке перечисления, для березовского, подмосковного и азейского углей 470; 480 и 520 Бк/кг. Эти значения превышают норматив бесконтрольного использования ЗШО в строительстве — 370 Бк/кг.

В России наиболее подробно изучена радиоактивность бурых углей в Забайкалье на месторождениях: Харанорском, Татауровском, Уртуйском, Кутинском, Окино-Ключевском. Примером отработки углей с повышенным содержанием ЕРН может служить многолетний опыт, применяемый при добыче углей на Уртуйском месторождении. Особенностью углей Уртуйского месторождения являются весьма существенные изменения содержаний в них ЕРН, 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).

Угли 1-го сорта могут использоваться для сжигания в печах и котельных, не оборудованных специальными средствами улавливания золы. Угли 2-го сорта можно использовать в бытовых печах и на ТЭС, оборудованных средствами

улавливания золы. Комплексные угли не пригодны для энергетических целей. При сжигании углей 3-го сорта образующиеся зола и шлак имеют активность, при которой использование их недопустимо в строительных целях. Угли 3-го сорта на Уртуйском месторождении складировались в специальных отвалах для их длительного хранения, до решения об их утилизации.

Опыт отработки Уртуйского месторождения и сжигания углей 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 населенном пункте. С этой целью создан пункт управления качеством угля по типу автомобильной радиометрической контрольной станции для сортировки урановых руд, через который пропускают все без исключения углевозы.

В настоящее время никакого контроля по содержанию ЕРН в углях, сжигаемых на российской ТЭС (за исключением Уртуйского угля, поступающего на Краснокаменскую ТЭЦ) не производится.

Авторами были проанализированы результаты сжигания уртуйских углей на Краснокаменской ТЭЦ за период 2005—2010 гг. На ТЭЦ поставлялся уголь со средней естественной влажностью в 32%. Объемы поставки варьировали по годам от 1 398 771 т до 1 642 562 т, что в пересчете на сухой уголь составило соответственно 1 054 082 т и 1 133 368 т. Средняя зольность углей за этот период составила 14,2%.

Среднее содержание урана в углях, используемых на ТЭЦ по результатам оп-

робования составило 0,0013%, варьируя от 0,0008% до 0,0021%. Соответственно за этот период на ТЭЦ было поставлено в углях 81,3 т урана, варьируя по годам от 7,9 т до 22,1 т.

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 — унос составляет 95%, т.е. 5% золы — унос ежегодно выбрасывается в атмосферу.

Шлак + тяжелая фракция золы по мере накопления удаляется из котлов ТЭЦ и транспортируется в золошлакоотвалы.

Зола — унос с электрофильтров периодически снимается и направляется на горнорудное предприятие, добывающее урановые руды, для использования в качестве вяжущего вещества при изготовлении твердеющей закладки, используемой для заполнения выработанного подземного пространства.

Шлак + тяжелая фракция золы и зола — унос с электрофильтров взвешивается и опробуется рентгенорадиометрическими приборами на предмет определения в них содержания урана. Зная вес этих отходов ТЭЦ и содержание в них урана, не трудно подсчитать в них количество урана.

В процессе проведенных исследований установлено:

- обогащение золошлака по сравнению со средним содержанием урана в угле составляет в среднем 4,0, варьируя от 2,5 до 6 раз, причем обогащается именно тяжелая фракция золы, а содержание урана в шлаке примерно остается на уровне его содержания в засоряющих уголь породах;

- обогащение средней фракции золы — унос составило в среднем 6, варьируя от 4 до 7 раз;

- обогащение дисперсной фракции золы — унос — в среднем 71, варьируя от 40 до 100 раз.

Средняя величина обогащения твердых отходов ТЭЦ ураном за период 2005–2010 г. составила 5,6 раза.

Среднее ежегодное количество урана, выбрасываемого в атмосферу, составило 2,75 т (варьируется от 2,4 т до 3,4 т).

Доля твердых отходов составила ежегодно в среднем 14,3% (13,5–15,2%) от количества угля, сжигаемого на ТЭЦ.

Анализ результатов исследования показал, что обогащение золошлаков по сравнению со средним содержанием урана в угле составляет в среднем 4,0, варьируя от 2,5 до 6 раз, причем обогащается именно тяжелая фракция золы, а содержание урана в шлаке примерно остается на уровне его содержания в засоряющих уголь породах.

Заключение

При сжигании углей на ТЭС происходит концентрирование ЕРН в золошлаке и в летучей золе ТЭС. Эти продукты сжигания углей загрязняют радионуклидами почву, воду и атмосферу и особенно сильно вблизи от ТЭС.

Золошлаковые отвалы российских ТЭС занимают огромные территории, образуя, по сути, техногенные месторождения ЕРН. В ряде случаев шлаки и золы

ТЭС, обогащенные ЕРН, используются в хозяйственных целях и являются причиной радиоактивного облучения персонала ТЭС и населения.

В России угольная продукция по радиационно-экологической безопасности не нормируется. Авторами не найдены и зарубежные нормативные документы, регламентирующие добычу и использование углей с повышенным содержанием ЕРН. Отсутствуют и методики отработки и управления качеством углей по радиационным параметрам, что приводит к их бесконтрольному сжиганию.

Опыт использования уртуйского угля на Краснокаменской ТЭЦ показывает на возможность создания эффективной системы контроля качества угля по радиационно — гигиеническому фактору и обеспечения охраны окружающей среды и здоровья населения. Для снижения облучения персонала и населения, проживающего в районах расположения угольных ТЭС, необходимо организовать тщательный контроль как за содержанием ЕРН в энергетических углях, так и за продуктами их сжигания, выбрасываемых в окружающую среду. Решение проблем радиоактивности углей 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. — Екатеринбург: Институт геологии (Коми научный центр Уро РАН), 2005. — 650 с.
2. Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Радиоактивность углей и золошлаковых отходов угольных электростанций: монография. — Чита: ЗабГУ, 2016. — 237 с.
3. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. — Кемерово: Комитет природных ресурсов по Кемеровской области, 1999. — 248 с., 129 ил.
4. Арбузов С.И., Волостнов А.В., Машенькин В.С. Радиогеохимическая характеристика углей Северной Азии // Энергетик. — 2010. — № 3. — С. 2–8.

5. Ершов В. В., Арбузов С. И., Рихванов Л. П., Поцелуев А. А. Радиоактивные элементы в углях Кузбасса / Сборник докладов конференции «Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию». Кемерово, 24–25 февраля 1999. — Кемерово, 1999. — С. 132–139.

6. Алукер Н. Л., Васильев И. А., Еременко А. Н., Нечаев А. Ф. Проблема радиационной безопасности угольной отрасли / Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию: Труды международной научно-практической конференции. Т. 2. — Кемерово: Кузбассвуиздат, 1999. — С. 139–149.

7. Рихванов Л. П., Ершов В. В., Арбузов С. И. Комплексное эколого-геохимическое исследование углей // Уголь. — 1998. — № 2. — С. 54–57.

8. Нифантов Б. Ф., Заостровский А. Н., Занина О. П. Горно-геологическое и технологическое значение распределения ценных и токсичных элементов в кузнецких углях // Уголь. — 2009. — № 12. — С. 59–61.

9. Англиби Л. Дж., Девел Л., Мишра Ю. К. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля: пер. с англ. / Под ред. Ф. Уоррена, Р. Харрисона. — М.: Мир, 1999. — 512 с.

10. Нифантов Б. Ф., Потапов В. П., Митина Н. В. Геохимия и оценка ресурсов редкоземельных и радиоактивных элементов в кузнецких углях. Перспективы переработки. — Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. — 100 с, ил.

11. Кизильштейн Л. Я., Дубов И. В., Шпицглюз А. Л., Парада С. Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 176 с.

12. Кизильштейн Л. Я. Уголь и радиоактивность // Химия и жизнь. — 2006. — № 2. — С. 22–24.

13. Давыдов М. Г., Тимонина Ю. А. Радиационная обстановка в районе расположения ГРЭС Ростовской области // Теплоэнергетика. — 2003. — № 12. — С. 8–13.

14. Научное издание. Радиация. Дозы, эффекты. Риск: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 79 с., ил.

15. Зеленков А. Г. Некоторые вопросы радиационной экологии. Обзор. — М.: ИАЭ, 1989. — 80 с. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Сидорова Галина Петровна — доктор технических наук, профессор, e-mail: druja@inbox.ru, Забайкальский государственный университет,
Крылов Дмитрий Алексеевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: krylova.ver@yandex.ru, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 11, pp. 200–209.

UDC 622.332.621.039.7

G.P. Sidorova, D.A. Krylov

RADIATION HAZARD ISSUES IN THE COAL POWER GENERATION INDUSTRY

The article provides a comprehensive analytical material on the content of natural radionuclides (NRN) in coals from different deposits, both domestic and foreign. It is noted that not all coal deposits contain a high content of ERN, but it contains all the coals in different quantities.

Radiation hazard coal plants associated with NRN — one of the most important problems of coal power. The sources of pollution are thermal power plant fly ash emissions, discharges of liquid and solid waste remaining after the burning of coal, ie, ash and slag. The number of radionuclide onto the atmosphere, depends on the concentration of the coal, coal combustion method for TPP, as well as fly ash collection efficiency. Non-volatile compounds accumulate in the ash and slag, and more volatile — moved from the flue gases. Published by various authors findings suggest that the specific

radioactivity of fly ash increases with decreasing particle size. Therefore, the discharged fly ash having particle sizes smaller when compared with larger particles entrained environmental equipment, has greater activity than the ash captured by filters TPP.

Key words: coal ash and slag waste CHP, natural radionuclides, radiation hazards, pollution sources.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-200-209

AUTHORS

Sidorova G.P., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Transbaikal State University, 372030 Chita, Russia,

e-mail: druja@inbox.ru,

Krylov D.A., Candidate of Technical Sciences,

Leading Researcher, e-mail: krylova.vep@yandex.ru,

National Research Centre «Kurchatov Institute»,

123182, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Merts A.V. *Toksichnye elementy-primesi v iskopaemykh uglyakh* (Toxic elements-admixtures in fossil coal), Ekaterinburg, Institut geologii (Komi nauchnyy tsentr Uro RAN), 2005, 650 p.

2. Sidorova G.P., Krylov D.A. *Radioaktivnost' ugley i zoloshlakovykh otkhodov ugol'nykh elektrostantsiy: monografiya* (Radiation activity of coal and ash-and-slag waste at coal-fired electric power plants), Chita, ZabGU, 2016, 237 p.

3. Arbuzov S.I., Ershov V.V., Potseluev A.A., Rikhvanov L.P. *Redkie elementy v uglyakh Kuznetskogo basseyna* (Rare elements in Kuznetsk Basin coals), Kemerovo, Komitet prirodnnykh resursov po Kemerovskoy oblasti, 1999, 248 p.

4. Arbuzov S.I., Volostnov A.V., Mashen'kin V.S. *Energetik*. 2010, no 3, pp. 2–8.

5. Ershov V.V., Arbuzov S.I., Rikhvanov L.P., Potseluev A.A. *Sbornik dokladov konferentsii «Ekologicheskie problemy ugledobyvayushchey otrasli v regione pri perekhode k ustoychivomu razvitiyu»*. Kemerovo, 24–25 fevralya 1999 (Environmental Challenges of Regional Coal Mining Industry upon Transition to Sustained Development: Conference Proceedings. Kemerovo, 24–25 ebruary 1999), Kemerovo, 1999, pp. 132–139.

6. Aluker N.L., Vasil'ev I.A., Eremenko A.N., Nechaev A.F. *Ekologicheskie problemy ugledobyvayushchey otrasli v regione pri perekhode k ustoychivomu razvitiyu: Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. T. 2 (Environmental challenges of regional coal mining industry upon transition to sustained development. Proceedings of the international scientific-practical conference. vol. 2), Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 1999, pp. 139–149.

7. Rikhvanov L.P., Ershov V.V., Arbuzov S.I. *Ugol'*. 1998, no 2, pp. 54–57.

8. Nifantov B.F., Zaostrovskiy A.N., Zanina O.P. *Ugol'*. 2009, no 12, pp. 59–61.

9. Anplbi L. Dzh., Devel L., Mishra Yu. K. *Puti migratsii iskusstvennykh radionuklidov v okruzhayushchey srede. Radioekologiya posle Chernobylya*: per. s angl. Pod red. F. Uorrena, R. Kharrisona (Paths of artificial radio nuclides in the environment. Past-Chernobyl radioecology. English–Russian translation, Warren F., Harrison R. (Eds)), Moscow, Mir, 1999, 512 p.

10. Nifantov B.F., Potapov V.P., Mitina N.V. *Geokhimiya i otsenka resursov redkozemel'nykh i radioaktivnykh elementov v kuznetskikh uglyakh. Perspektivy pererabotki* (Geochemistry and appraisal of rare-earth and radio active elements in Kuznetsk coals. Prospects for conversion), Kemerovo, Institut uglya i uglekhimii SO RAN, 2003, 100 p.

11. Kizil'shteyn L. Ya., Dubov I.V., Shpitsgluz A.L., Parada S.G. *Komponenty zol i shlakov TES* (Components of ash and slag at a thermal plant), Moscow, Energoatomizdat, 1995, 176 p.

12. Kizil'shteyn L. Ya. *Khimiya i zhizn'*. 2006, no 2, pp. 22–24.

13. Davydov M.G., Timonina Yu.A. *Teploenergetika*. 2003, no 12, pp. 8–13.

14. *Nauchnoe izdanie. Radiatsiya. Dozy, efekty. Risk*: Per. s angl. (Scientific publication. Radiation. Dose, effects. Risk: English–Russian translation), Moscow, Mir, 1990, 79 p.

15. Zelenkov A.G. *Nekotorye voprosy radiatsionnoy ekologii. Obzor* (Some issues of radiation ecology. Overview), Moscow, IAE, 1989, 80 p.