УДК 621.039.7

Д.А. Крылов

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ ОТ УГОЛЬНЫХ ТЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

Проведен анализ литературных данных по содержанию микроэлементов в углях и в золошлаковых отходах угольных ТЭС, а также в выбросах в атмосферу микроэлементов в летучей золе ТЭС. Рассчитаны удельные показатели по среднему содержанию некоторых микроэлементов, выбрасываемых в атмосферу с летучей золой при сжигании углей различных угольных бассейнов на российских ТЭС. Произведена систематизация информации по литературным данным по негативному воздействию микроэлементов, содержащихся в золошлаковых отходах угольных ТЭС и в дымовых выбросах в атмосферу микроэлементов с летучей золой ТЭС на здоровье персонала угольных ТЭС и на окружающую среду в районе расположения угольных электростанций.

Ключевые слова: уголь, зола, летучая зола, выбросы от угольных ТЭС, токсичные элемента-примеси в углях.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-77-87

Введение

Угли, потребляемые на российских ТЭС, отличаются значительным разнообразием марок и месторождений. В 2006—2014 гг. объемы поставок угля составляли 115—140 млн т в год. Основные угли, потребляемые на ТЭС России — это экибастузские, кузнецкие и канско-ачинские, которые формируют примерно 60% суммарного ежегодного объема поставки угольного топлива. В 2014 г. доли экибастузского, кузнецкого и канско-ачинского углей составляли соответственно 20%, 19% и 21%. Доля иркутского угля — 8%, читинского — 5%; доли донецкого, приморского и бикинского углей составили по 3%; печорского и нерюнгинского углей по 2%. На все прочие угли приходилось 14% от общего объема поставок углей на ТЭС [1].

Российские ТЭС — крупнейший потребитель низкокачественных, необогащенных углей (около 90% суммарного ежегодного объема потребления). По [1] среднее по всем ТЭС России значение низшей теплотворной способности угольного топлива составляет 4000—4200 ккал/кг; диапазон изменения показателей — от 2000 ккал/кг (для уральских и подмосковных бурых углей) до 6000 ккал/кг (для кузнецких углей марок СС/Т).

Поставка на ТЭС низкокачественного угля происходит вследствие технических ограничений основного и вспомогательного оборудования российских ТЭС по сжиганию качественных углей. Действующие ТЭС не нуждаются в высококачественном угле, так как (за редким исключением) спроектированы и построены в расчете на сжигание низкокачественно-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 12. С. 77–87.
© Д.А. Крылов. 2017.

го угля конкретных месторождений. Потребность в высококачественном угле могла бы возникнуть при внедрении современных угольных электростанций, основанных на «чистых» угольных технологиях, которые пока в нашей энергетике отсутствуют.

В настоящее время в России эксплуатируются 124 угольные ТЭС суммарной установленной мощностью 57,9 ГВт. Средний срок службы действующих угольных ТЭС составляет уже около 50 лет [1].

Если в европейской части России в структуре топлива ТЭС доля угля незначительна (6% в 2014 г.), то в Сибири и на Дальнем Востоке доля углей в структуре топлива на ТЭС составляла в 2014 г. 84% и 55%. Из 43 газоугольных ТЭС в европейской части России продолжают потреблять уголь только 18 ТЭС и только на Черепетской ГРЭС (Тульская обл.) уголь является монотопливом [1].

«Вследствие неконкурентоспособности угольной генерации в европейской части России структура топлива ТЭС сформирована практически монотопливом — природным газом. В последние годы доля газа достигла критического уровня — 93%. На Дальнем Востоке происходит процесс интенсивной газификации — увеличение потребления ТЭС природного газа, добываемого на шельфе о. Сахалин. Доля газа за пять лет увеличилась в 2 раза, притом, что цена газа является высокой и косвенно дотируется государством» [1].

В отличие от России в экономически развитых странах при производстве электроэнергии используют только качественные угли с низкой зольностью. В табл. 1 представлена принятая в США классификация углей по сорту [2]. По этой классификации отечественные угли, за исключением канско-ачинских, имеют сортность ниже низкого уровня. Канско-ачинский уголь можно классифицировать как уголь среднего сорта.

На западных угольных ТЭС, в отличие от работы российских ТЭС, энергетические угли стандартизованы. Это позволяет использовать на ТЭС типовые конструкции вспомогательного оборудования, горелок и топок, упрощает и удешевляет проекты и эксплуатацию. Для соответствия стандартам некоторые угли промывают от породы или обогащают на месте добычи. Стандартизация топлива по влажности, содержанию серы, азота, золы позволит одновременно решить не только проблему «проектного топлива», но и экологические проблемы, связанные, в частности, с повышенной зольностью углей.

В публикациях, посвященных охране воздушного бассейна от воздействия ТЭС, в частности, проблеме выбросов в атмосферу CO_2, оксидов азота и серы, летучей золе, уделяется большое внимание. Опыт решения экологических проблем с этими выбросами в атмосферу от ТЭС освещен во множестве книг и статей. Существуют и государственные программы по уменьшению таких выбросов. Между тем остается недостаточно ясной экологическая роль более чем 50 элементов-примесей, обнаруженных в составе углей. Этим вопросам уделяется недостаточное внимание, в несо-

Таблица 1

Классификация углей США по сортности

Сорт угля	Зольность, %	Сера, %
Высокий	2—5	1
Средний	5—8	1—3
Низкий	8—12	3—5

Таблица 2

Классификация элементов-примесей в углях по [3]

Группа малых элементов	Интервал содержания, г/т сухого вещества	Ориентировочный состав групп малых элементов в углях
Собственно малые	1000—10	B, F, Cl, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Zr, Ba, Pb
Редкие	10—0,1	Li, Be, Sc, Co, Ga, Ge, Se, Sr, Br, Y, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Zn, Cs, La, Yb, W, Bi, U, Hg
Ультраредкие	менее 0,1	Ag, Re, Au, Pt

поставимо меньшей степени, чем выбросам в атмосферу парниковых газов и оксидов серы и азота.

Целью настоящей работы было показать основные направления снижения негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей от токсичных микропримесей, содержащихся в золошлаковых отвалах угольных ТЭС и в летучей золе, выбрасываемой в атмосферу, угольными электростанциями.

Элементы-примеси в углях

Химические элементы, составляющие от единиц до тысячных долей процента от общей массы углей, называют элементами-примесями (еще их называют микроэлементами). В углях на их долю в сумме обычно приходится не более 1% неорганического вещества. В углях обнаружено более 50 элементов-примесей. Особенностью их распространения является резко неравномерное содержание в углях различных месторождений, а во многих случаях даже в пределах одного пласта.

В соответствии с геохимической классификацией [3] к элементам-примесям относят собственно малые элементы 0,1—0,001% (1000—10 г/т), редкие —

Таблица 3

Распространенные в углях различных бассейнов токсичные и потенциально токсичные элементы

Элемент	«Порог токсичности», г/т угля	Бассейн, месторождение с аномальным содержанием в углях токсичных элементов
Мышьяк	300	Кузнецкий, Сахалинский бассейны
Бериллий	50	Кизеловский, Подмосковный, Дальний Восток
Ртути	1	Восточный Донбасс
Фтор	500	Дальнего Востока
Ванадий	100	Кизеловский, Сахалинский
Кобальт	100	Горловский
Марганец	1000	Канско-Ачинский, Челябинский
Никель	100	Печорский, Подмосковный, Горловский
Свинец	50	Подмосковный, Челябинский, Тунгусский
Хром	100	Челябинский, Южно-Уральский, Тунгусский, Печорский, Кузнецкий
Кадмий	1,2	Челябинский, Южно-Уральский, Тунгусский, Печорский, Кузнецкий
Цинк	200	Восточный Донбасс, Кизеловский, Партизанский, Сахалинский
Таллий	0,3	Кузнецкий, Сахалинский

0,001—0,00001% (10—0,1 г/т) и ультрередкие с содержанием менее 0,00001% (менее 0,1 г/т) (табл. 2).

По степени опасности (токсичности) для контроля загрязнения почв в соответствии с ГОСТ 17.4.1.02-83 химические элементы подразделяются на три класса. Первый класс — As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn; второй — B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr; третий — Ba, V, W, Mn, Sr.

В Институте горючих ископаемых проведен анализ элементов-примесей, достигающих «порога токсичности», и намечены регионы проявления углей с аномальным содержанием токсичных элементов в недрах и в углях (см. табл. 3) [3].

Воздействие токсичных микроэлементов, содержащихся в золошлаковых отвалах ТЭС, на окружающую среду

При сжигании угля на ТЭС за счет выгорания углерода и удаления летучих соединений происходит концентрирование микроэлементов в золе и шлаке. Степень концентрирования зависит от зольности углей, форм нахождения в них микроэлементов и летучести их оксидов и других соединений, образующихся в процессе горения и перемещения газов по дымовому тракту ТЭС. Слаболетучие соединения накапливаются в золе и шлаке, которые удаляются в золошлакоотвалы (ЗШО), а более летучие — перемещаются с дымовыми газами. По мере охлаждения последние либо будут образовывать собственные аэрозольные частицы, либо — конденсироваться на других аэрозолях и частично удаляться в атмосферу в виде летучей золы, либо — в виде самостоятельной газовой фазы.

Известно, что в ЗШО содержание большинства химических элементов (за исключением легколетучих) в несколько раз выше их первичного содержания в исходном угле. В случае использования обогащенного микроэлементами угля содержание этих элементов в золах может быть чрезвычайно высоким, выше предельно допустимых концентраций (ПДК) для почв.

Из литературы известно, что ЗШО ТЭС даже при выполнении необходимого комплекса мероприятий оказывают угнетающее воздействие на окружающую среду не только в зоне их расположения, но и далеко за их пределами вследствие пыления и загрязнения токсичными микропримесями почвы и грунтовых вод в районе ЗШО.

По [4] концентрация токсичных микроэлементов оказалась повышенной в кормах, потребляемых скотом в естественных условиях на пастбищах вблизи золоотвалов ТЭС.

Пыление ЗШО ТЭС вызывает снижение продуктивности сельскохозяйственных полей, ухудшает санитарное состояние территории, что негативно влияет на здоровье человека. Особенно неблагоприятно проявляется пыление ЗШО в районах с большими скоростями ветра. Эта проблема особенно остра в районе расположения ТЭС, в климатических зонах, характеризующихся недостаточной увлажненностью и сильными ветрами. В этих условиях ЗШО, содержащие токсичные микроэлементы могут служить источником загрязнения территории площадью в несколько сот квадратных километров.

По данным [1], в настоящее время объем ЗШО российских ТЭС огромен, достиг уже 1,6 млрд т. Ежегодный выход золошлаковых отходов составляет примерно 25 млн т, а утилизируется около 2,5 млн т/год (~10%). Если подобная тенденция сохранится, то к 2020 г. объем накопленных ЗШО превысит 1,7 млрд т и ЗШО большого количества ТЭС будут переполнены. В настоящее время ЗШО 107 электростанций близки к переполнению, организация дополнительного землеотвода для ЗШО затруднена или

невозможна, возникает угроза ограничения мощности электростанций.

В наши дни наличие ЗШО — это символ технической отсталости и экономической неэффективности. Если ранее при строительстве угольных ТЭС наличие ЗШО было технически объяснимо, то в двадцать первом веке следует использовать более современные, экономически эффективные проекты модернизации теплоэнергетики.

В отличие от России в Германии в настоящее время запрещено иметь ЗШО. В США, Великобритании, Польше, Китае используется 50—70% годового выхода золошлаковых отходов [4]. Такому положению на европейских ТЭС способствует как существование энергетических компаний Европы в условиях жесткой конкуренции, так и четкое экологическое законодательство ЕС, которое устанавливает экологический штраф за размещение золошлаковых отвалов, в среднем 100 евро за тонну (284 евро в Чехии, 120 евро в Германии, 90 евро в Италии). Для сравнения в России этот штраф за складирование ЗШО составляет 5—16 руб. за 1 т (0,1—0,3 евро/т) [4].

Воздействие токсичных микроэлементов, содержащихся в летучей золе ТЭС, на окружающую среду и здоровье людей

По данным американских ученых, при изучении поведения 32-х элементов в процессе работы ТЭС установлено, что основная часть микроэлементов улетучивается и конденсируется на субмикронных частицах летучей золы. Коэффициент обогащения для всех исследованных элементов больше единицы и максимален для цинка, мышьяка, селена, рубидия, сурьмы, меди. Эти субмикронные частицы летучей золы наиболее опасны, так как легко проходят через очистные устройства и, обладая высокой атмосферной подвижностью, не только осаждаются на почвенно-растительном покрове, но и легко проникают в дыхательную систему человека и животных [5].

Таблица 4

Выбросы в атмосферу тяжелых металлов при работе топливосжигающих установок в Европе, т/год

Тяжелые металлы	Выброс в атмосферу тяжелых металлов, т/год
Zn	11100
Ni	4860
Cu	3040
Pb	1930
Cr	1170
Hg	245
Cd	203

Несмотря на меры, принимаемые зарубежными энергетиками по снижению выбросов, в результате работы ТЭС ежегодные выбросы в атмосферу тяжелых металлов значительны. В табл. 4 приведена информация о выбросах в атмосферу тяжелых металлов в результате работы топливосжигающих установок в 15 странах Евросоюза в 1990 г. [6].

При проектировании угольных ТЭС в России экологический ущерб от выбросов золы в атмосферу рассчитывается лишь по коэффициенту очистки дымовых газов золоуловителями, без учета субмикронных фракций летучей золы.

В табл. 5 по [7] представлена информация по выбросам в воздушное пространство летучей золы от угольных ТЭС России в 1991—2010 гг., млн т/год.

В табл. 5 объемы выбросов летучей золы в 1991—1995 гг. представлены по [7], а объемы выбросов в 2006 г. и 2010 г. представлены по данным, приведенным в «Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики на период до 2010 года».

По оценке автора, базирующейся на опубликованных официальных данных

Таблица 5

Выбросы в воздушное пространство летучей золы от угольных ТЭС России в 1991—2010 гг., млн т/год

1991 г.	1992 г.	1993 г.	1994 г.	1995 г.	2006 г.	2010 г.
2,3	1,93	1,8	1,53	1,38	0,92	1,11

за 16 лет (с 1991 г. по 2006 г.), суммарные выбросы в атмосферу летучей золы от российских ТЭС составили 20,4 млн т [4]. Такие объемы выбросов вызваны в первую очередь крайне низким уровнем очистки дымовых газов от золы. В среднем эксплуатационная эффективность парка электрофильтров по улавливанию золы на ТЭС России составляет лишь 96,5%. А на многих ТЭС эффективность электрофильтров еще ниже [4].

Еще одна причина больших выбросов летучей золы — это использование высокозольных углей на российских ТЭС. В табл. 6 по [7] представлены нормативные характеристики углей, применяемых на ТЭС. Из данных этой таблицы видно, насколько велика зольность подмосковного и экибастузского углей, используемых на ТЭС России.

Зольность донецких и кузнецких углей также значительно превышает зольность углей, сжигаемых на ТЭС США (см. табл. 1).

По данным ОАО «ВТИ» [7] «реально на многие ТЭС поступает уголь с еще более высокой зольностью и более низкой теплотой сгорания, чем предусмотрено нормативными данными, приведенными в табл. 6.

Для сравнения в соответствии с европейским стандартами на европейских ТЭС золоуловители должны обеспечивать степень очистки газа от золы до 99,8—99,9%. «Сочетание тканевых или электрофильтров с известняковым методом мокрых скрубберов в целом обеспыливает дымовые газы на зарубежных ТЭС на 99,95—99,99%» [6].

Среди веществ, которые могут попадать в окружающую среду при сжигании углей на ТЭС, наибольшую экологическую опасность представляют летучие соединения: ртути, мышьяка, селена, свинца, кадмия, цинка, сурьмы, висмута, бериллия, кобальта, хрома, меди, никеля, ванадия, марганца. Попадая в организм человека в относительно небольших количествах, они способны накапливаться в ряде органов и тканей человека, вызывая их разрушение, возникновение злокачественных опухолей и мутагенные эффекты, понижение сопротивляемости к инфекциям.

Анализ заболеваемости органов дыхания у населения, проживающего в зоне

Таблица 6

Нормативные характеристики углей, используемых на ТЭС России

Уголь, сжигаемый на ТЭС, из разных угольных бассейнов	Теплота сгорания углей, МДж/кг	Содержание золы в расчете на рабочую массу, %*
Подмосковный бурый	10,4	25,2 (242)
Донецкий каменный	24,2	23,8 (97)
Кузнецкий каменный	22,6	18,9 (82)
Канско-ачинский бурый	15,7	4,7 (29)
Экибастузский каменный	12,1	45 (250—420)

* В скобках приведены цифры выхода золы всего, в граммах в расчете на выработку 1 кВт · ч электроэнергии, г/ кВт · ч

влияния выбросов ТЭС, позволил сделать вывод, что удельный вес заболеваний выше у тех, кто проживает на расстоянии от 1000 до 2000 м от ТЭС. Среди острых заболеваний на первом месте — острые заболевания верхних дыхательных путей, бронхит, бронхиальная астма и др. Среди возрастных групп населения чаще болеют дети и лица старше 40 лет по сравнению с населением, живущим в благоприятной экологической обстановке [6].

В эпидемиологическом исследовании [8], проведенном на Новочеркасской ГРЭС (работающей на низкосортном антрацитовом штыбе), показано, что твердые частицы летучей золы неоднородны по размеру, диаметр большинства частиц лежит в интервале от 0,01 до 150 мкм. На долю частиц диаметром до 5 мкм приходится почти 42% всех твердых частиц дымовых уносов. Частицы такого размера проникают в растения, организмы животных и человека, распределяются по органам и тканям, растворяются в биожидкостях, достигая мишеней биологического действия.

Из данных, приведенных в [8], известно, что «80% частиц диаметром 0,5—5 мкм проникает в дыхательные отделы легких человека и, поглощаясь альвеолярными макрофагами, поступает в кровь и ткани организма, и при длительной экспозиции способствует возникновению ряда заболеваний. Более крупные частицы (более 5 мкм) в дыхательных путях не оседают, человек их выдыхает. Считается, что основная масса частиц летучей золы попадает в организм через верхние дыхательные пути. А частицы диаметром до 0,1 мкм могут проникать через кожный покров, попадая в капилляры и разноситься кровотоком по органам и тканям [8].

«Эпидемиологические обследования населения подтвердили роль тяжелых металлов в этиологии злокачественных новообразованиях. Установлено модифицирующее действие металлов, входящих в состав твердых частиц дымовых уносов, в виде наночастиц и на течение опухолевого роста, и на развитие спонтанного канцерогеноза» [8].

Расстояние, на которые могут разноситься от ТЭС частицы золы и их осаждение вместе с атмосферными осадками, зависят от физических свойств золы, погодных условий, розы ветров и т.д. Частицы диаметром 10 мкм и более осаждаются довольно быстро и их воздействие проявляется в непосредственной близости от ТЭС на расстоянии до 3 км. Частицы менее 10 нм и особенно менее 2,5 нм могут преодолевать сотни километров, прежде чем осядут [6].

Известно, что микроэлементы сравнительно быстро накапливаются в почве и крайне медленно из нее выводятся, обусловливая повышенный по сравнению с фоновым уровень загрязнения в зонах пахотного земледелия зерновых культур, пастбищ, сенокосов, многолетних насаждений и населенных пунктов [6]. Вследствие увеличения числа взвешенных частиц в воде, изменения pH концентрация кислорода в воде снижается, возникает угроза жизнедеятельности представителей водной фауны. Высвобождение из пылевых частиц от ТЭС потенциально опасных элементов (As, B, Mo, Se, Sr, V) в воду и почву приводит к накоплению их в сельскохозяйственных растениях, и они могут попасть в организм животных и человека. Элементы Se и Mo, не токсичные для растений, концентрируясь в растительной ткани, являются токсичными для пастбищных животных. Почвы с высоким уровнем Mo могут вызывать, например, молибдениоз рогатого скота [6, 8].

На ТЭС применяют высотные дымовые трубы, позволяющие рассеивать вредные примеси в атмосферном воздухе. Дымовая труба на Экибастузской ГРЭС-2 высотой 420 м внесена в книгу

Таблица 7

Содержание токсичных микроэлементов в летучей золе ТЭС, г/т

Уголь, сжигаемый на ТЭС, из разных угольных бассейнов	Среднее содержание токсичных микроэлементов в летучей золе, в г/т летучей золы					
	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Донецкий бассейн	2,5	85,5	246,3	194,1	223,5	158,3
Кузнецкий бассейн	23,6	33,1	41,1	33,1	—	100,1
Канско-Ачинский бассейн	15,3	33,24	24,9	59,8	149,6	124,6
Экибастузский бассейн	14,1	63,0	38,0	45,6	90,5	87,0

рекордов Гиннеса, как самая высокая труба в мире. Труба Березовской ГРЭС высотой 370 м является самым высоким промышленным объектом в России. Трубы Рязанской ГРЭС высотой по 320 м входят в число высочайших дымовых труб мира [2].

По данным ОАО «ВТИ» [7] летучая зола, выбрасываемая в атмосферу при сжигании углей на ТЭС, содержит тяжелые металлы, которые присутствуют не в виде отдельных частиц, а находятся в кристаллической матрице золы и в покрывающей ее стекловидной оболочке.

В табл. 7 по [7] представлена информация по средним содержаниям токсичных микроэлементов, выбрасываемых в атмосферу с летучей золой при сжигании на ТЭС различных углей. Из этих данных видно, что при использовании на ТЭС углей из различных месторождений содержание некоторых микроэлементов в летучей золе различается на порядок.

В табл. 8 приведены, рассчитанные автором, удельные показатели по среднему содержанию микроэлементов выбрасываемых в атмосферу с летучей золой ТЭС в микрограммах на производство 1 кВт·ч электроэнергии. В расчетах использованы данные из табл. 7 и показатели по удельным выходам золы всего (в г/кВт · ч), приведенные по оценкам ОАО «ВТИ» в табл. 6. Показатели содержания микроэлементов рассчитаны для значений эффективность электрофильтров на ТЭС, равными 96%.

В исследованиях института Фундаментальных проблем биологии РАН, оценено загрязнение Челябинска и его окрестностей тяжелыми металлами (Cu, Co, Ni, Zn, Pb, Cd, Cr, Mo, Hg) [9] и мышьяком [10], источником которых являются выбросы ТЭС и котельных, сжигающие уголь Челябинского бассейна, а также выбросы горящих терриконов шахт Челябинского бассейна в районе г. Копейска. Загрязнение этими веществами обусловлено воздушным переносом от этих источников, а также вследствие пылеобразования и переноса аэрозолей из ЗШО тепло-

Таблица 8

Удельные расчетные показатели содержания токсичных микроэлементов в летучей золе углей, сжигаемых на российских ТЭС

Бассейн сжигаемых на ТЭС углей	Расчетные показатели по содержанию микроэлементов в летучей золе, мкг/ кВт · ч					
	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Донецкий	9,7	332	955	753	867	614
Кузнецкий	77	109	135	109	—	328
Канско-Ачинский	18	39	29	69	174	145
Экибастузский	237	1058	638	766	1520	1462

энергетических установок. Загрязнение поверхностных и подземных вод региона происходит в результате смыва, фильтрации и выщелачивания токсичных веществ из золошлаковых отвалов ТЭС.

Содержание Zn, Pb, Cd и Hg в почвах этой территории оказалось выше нормативов ПДК в 1,5—20 раз, Cd и Hg в воде — в 6 и 2 раза [9]. Содержание мышьяка в почвах оказалось выше ПДК в 7—18 раз, а в почвах садово-огородных участков и сельскохозяйственных угодий — в 7—19 раз [10]. В дождевой воде, в коре тополя, в биомассе кукурузы и надводной биомассе тростника обнаружено повышенное содержание мышьяка и тяжелых металлов. Повышенное содержание этих веществ явилось результатом его захвата из воздушной среды. Накопление мышьяка в тростнике происходило путем его поглощения из поверхностной воды и донных отложений, так как биогеохимия данного растения связана с этими компонентами окружающей среды.

По оценке ученых геоэкологическую ситуацию этого региона следует считать крайне неблагополучной из-за загрязнения почв мышьяком и рядом тяжелых металлов в количествах, значительно превышающих ПДК. Это повышает риск попадания токсичных микроэлементов в организм человека через воздух и почвенную пыль или через пищевые цепи при выращивании растений на загрязненных садово-огородных участках и на сельскохозяйственных угодьях. Содержание мышьяка и тяжелых металлов в почве и в воде на территории Челябинска и его окрестностей было одного порядка с содержанием этих веществ в районе Южноуральской ГРЭС, использующей также челябинские угли.

В [10] отмечено, что «эпидемиологически давно уже показана связь между воздействием мышьяка и повышенной заболеваемостью человека раком кожи, респираторной, лимфатической и других систем, а также желудочно-кишечного тракта».

В международных исследованиях большое внимание уделяется проблеме выбросов ртути в атмосферу от угольных ТЭС. Энергетики США и Западной Европы занимаются внедрением на угольных ТЭС различных способов сокращения выбросов в атмосферу ртути. В 2000 г. американское Агентство по защите окружающей среды (U.S. EPA) объявило о подготовке законодательного ограничения по выбросам ртути на ТЭС. В докладах, подготовленных U.S. EPA в 1998 г., отмечено, что атмосферная эмиссия ртути от сжигания угля, на долю которой приходится 46% ежегодной эмиссии в количестве 143,5 т, представляет реальную угрозу здоровью населения США [11]. Принятый в США закон — «Правила поддержания чистого от паров ртути воздуха» предполагает, что выбросы ртути от ТЭС должны быть сокращены на 90%.

В Китае, по оценке специалистов, при сжигании на ТЭС 1377 млн т угля в 1995 г. эмиссии в атмосферу ртути составила 213,8 т [11].

С учетом рассеивания концентрация ртути, выбрасываемой с дымовыми газами ТЭС, в приземном воздухе оказывается сравнительно низкой и не создает угрозы здоровью человека, но атмосферная ртуть возвращается на землю с дождями, снегом и сухой пылью. Оказываясь в реках и озерах, она переходит в метилртуть и попадает в рыбу. Употребление такой рыбы в пищу оказывает влияние на здоровье человека, причем группой максимального риска оказываются женщины в детородном возрасте. Метилртуть, попадая через пищевые цепочки, вызывает неврологические заболевания, негативно влияет на сердечно-сосудистую систему человека.

К сожалению, в России не принимаются действенные меры по защите окружающей среды от негативного воз-

действия выбросов ртути в атмосферу от угольных ТЭС.

Заключение

Приведенные данные показывают, что угольные ТЭС являются источником загрязнения токсичными микроэлементами окружающей среды, приносят ущерб атмосфере, почве, водным источникам и людям. Это происходит в результате концентрирования большого количества микроэлементов в ЗШО и в выбросах в атмосферу летучей золы ТЭС.

Снизить негативное воздействие микроэлементов на население, проживающее в районах расположения ТЭС, способен хорошо организованный постоянный контроль как за содержанием микроэлементов в углях, так и за содержание таких элементов в летучей золе угольных ТЭС. Для этого требуется осуществить на ТЭС переход от существующих электрофильтров к высокоэффективным золоуловителям, позволяющим более эффективно улавливать субмикронные частицы.

Одной из главных причин больших выбросов летучей золы со значительным количеством микроэлементов следует считать использование низкокачественных российских энергетических углей, потребление которых составляет около 90% суммарного ежегодного объема потребления угольного топлива на ТЭС.

Для достижения целей развития современной электроэнергетики, связанных с минимальными выбросами золы в атмосферу и небольшим выходом золошлаковых отходов, необходимо добиваться поставки на ТЭС обогащенных углей с зольностью, уровень которой отвечал бы мировым стандартам (5—15%). Еще один барьер на пути развития экологически эффективной угольной генерации заключается в низком уровне утилизации золошлаковых отходов ТЭС.

Приведенный анализ свидетельствует о необходимости совершенствования природоохранных мероприятий по снижению выбросов микроэлементов с летучей золой, для уменьшения ее негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кожуховский И. С.*, *Алешинский Р. Е.*, *Говсиевич Е. Р.* Проблемы и перспективы угольной генерации в России // Уголь. — 2016. — № 2. — С. 4—15.

2. *Алехнович А. Н.* Всегда ли на ТЭС нужен высокосортный уголь // Энергетик. — 2013. — № 1. — С. 10—13.

3. *Жаров Ю. Н.* Малые элементы в твердых каустобиолитах // Российский химический журнал. — 1994. — № 5. — С. 12—19.

4. *Сидорова Г. П.*, *Крылов Д. А.* Радиоактивность углей и золошлаковых отходов угольных электростанций: монография. — Чита: ЗабГУ, 2016. — 237 с.

5. *Титаева Н. А.*, *Гаврилов Е. И.*, *Егоров С. С.* и др. Исследование загрязнения окружающей среды микроэлементами в районе угольной электростанции // Геохимия. — 1993. — № 12. — С. 1757—1767.

6. *Глущенко Н. Н.*, *Ольховская И. П.* Экологическая безопасность энергетики. Свойства частиц летучей золы ТЭС, работающих на угле // Известия РАН. Энергетика. — 2014. — № 1. — С. 20—27.

7. *Ольховский Г. Г.*, *Тумановский А. Г.*, *Глебов В. П. и др.* Проблемы охраны воздушного бассейна от воздействия тепловых электрических станций и их решения // Известия РАН. Энергетика. — 1997. — № 5. — С. 5—17.

8. *Глущенко Н. Н.*, *Богословская О. А. Байтукалов Т. А. и др.* Экологически аспекты энергетики. Биологические свойства твердых частиц дымовых уносов тепловой электростанции, работающих на углях // Известия РАН. Энергетика. — 2008. — № 4. — С. 129—137.

9. *Галиулин Р. В.*, *Галиулина Р. А.* Загрязнение территории Челябинска тяжелыми металлами при сжигании угля // Химия твердого топлива. — 2013. — № 2. — С. 62—64.

10. *Галиулин Р. В.*, *Галиулина Р. А.* Загрязнение территории Челябинска и его окрестностей мышьяком при сжигании угля // Химия твердого топлива. — 2011. — № 3. — С. 58—60.
11. *Юдович Я. Э.*, *Кетрис М. П.* Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. — Екатеринбург: УРО РАН, 2005. — 650 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Крылов Дмитрий Алексеевич — кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник, e-mail: krylova.vep@yandex.ru,
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 12, pp. 77–87.
UDC 621.039.7

D.A. Krylov

NEGATIVE EFFECTS OF IMPURITIES FROM COAL-FIRED THERMAL POWER STATIONS ON THE ENVIRONMENT AND HEALTH

In this paper we analyze published data on the content of trace elements in coal ash and waste coal-fired thermal power plants, as well as in air emissions of trace elements in fly ash from thermal power plants. Specific indicators are calculated on the average content of some trace elements (in micrograms to produce 1 kW · h of electricity) released into the atmosphere from the fly ash on burning coals of different coal basins in the Russian power station. Produced systematization of information from the literature. On the negative effects of trace elements contained in coal-fired thermal power plant ash waste and smoke emissions into the atmosphere of trace elements from fly ash thermal power plants on the health of the coal thermal power plant personnel and the environment in the vicinity of the coal-fired power plants.

Key words: coal, ash, fly ach, emission from thermal power plants, toxic trace elementsin coal.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-77-87

AUTHOR

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. Kozhukhovskiy I. S., Aleshinskiy R. E., Govsievich E. R. *Ugol'*. 2016, no 2, pp. 4—15.
2. Alekhnovich A. N. *Energetik*. 2013, no 1, pp. 10—13.
3. Zharov Yu. N. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 1994, no 5, pp. 12—19.
4. Sidorova G. P., Krylov D. A. R*adioaktivnost' ugley i zoloshlakovykh otkhodov ugol'nykh elektrostantsiy*: monografiya (Radioactivity of coal and ash-and-slag waste of coal-fired power plants. Monograph), Chita, ZabGU, 2016, 237 p.
5. Titaeva N. A., Gavrilov E. I., Egorov S. S. *Geokhimiya*. 1993, no 12, pp. 1757—1767.
6. Glushchenko N. N., Ol'khovskaya I. P. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii nauk. Energetika*. 2014, no 1, pp. 20—27.
7. Ol'khovskiy G. G., Tumanovskiy A. G., Glebov V. P. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii nauk. Energetika*. 1997, no 5, pp. 5—17.
8. Glushchenko N. N., Bogoslovskaya O. A. Baytukalov T. A.*Izvestiya Rossiyskoy Akademii nauk. Energetika*. 2008, no 4, pp. 129—137.
9. Galiulin R. V., Galiulina R. A. *Khimiya tverdogo topliva*. 2013, no 2, pp. 62—64.
10. Galiulin R. V., Galiulina R. A. *Khimiya tverdogo topliva*. 2011, no 3, pp. 58—60.
11. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Toksichnye elementy-primesi v iskopaemykh uglyakh* (Toxic impurity elements in fossil coal), Ekaterinburg, URO RAN, 2005, 650 p.