

# «Токсичность»

## угольной тепло-электрогенерации

Д.А. Крылов, к.т.н., ведущий научный сотрудник, НИЦ «Курчатовский институт»

**В Долгосрочной программе развития угольной промышленности России на период до 2030 г. намечено опережающее развитие угольной тепло-электрогенерации в России.**

В настоящее время угольные электростанции (ТЭС) России производят лишь 20% энергии, но на их долю приходится 70% вредных выбросов энергетики [1]. В связи с планируемым увеличением потребления угля на ТЭС могут возрасти и объемы вредных выбросов электростанций в окружающую среду.

В энергетике проблеме выбросов в атмосферу CO<sub>2</sub>, оксидов серы, азота и летучей золы уделяется большое внимание. Существуют программы по уменьшению таких выбросов. Между тем, вопросам негативного воздействия микроэлементов, содержащихся в углях, в золошлаковых отходах угольных электростанций и в выбросах в атмосферу летучей золы угольными ТЭС, уделяется несопоставимо меньшее внимание.

Геохимики в химсоставе неорганического вещества угля выделяют две группы элементов. Одна из них включает главные золообразующие элементы: Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, S,

P. На их долю в углях приходится примерно 99% всей массы неорганического вещества. Другая группа – это микроэлементы, составляющие обычно не более 1% от всего неорганического вещества угля.

В соответствии с геохимической классификацией [2] по концентрированному признаку к микроэлементам относят собственно малые элементы 0,1–0,001% (1000–10 г/т), редкие – 0,001–0,00001% (10–0,1 г/т) и ультраредкие с содержанием менее 0,00001% (менее 0,1 г/т) (табл. 1).

Концентрации некоторых элементов в углях могут значительно превышать их средние содержания в земной коре. Это обусловлено тем, что геохимическая среда в угленосных пластах благоприятна для накопления микроэлементов по сравнению со средним фоном земной коры.

За рубежом большие исследования по содержанию микропримесей в различных фракциях золы ТЭС были проведены в 1960-х и в начале 1970-х годов.

Американские геохимики Р. Финкельман и Р. Броун отмечают, что при учете масштабов добычи угля в США из него можно было бы получить не менее половины ежегодно потребляемых в стране мышьяка, бериллия, висмута, кобальта, гафния и др., снизив при этом уровень экологического за-

грязнения, поскольку при использовании угля накапливается значительное количество опасных элементов, оказывающих существенное влияние на человека и окружающую среду [3].

Насколько сильно отличаются показатели содержания некоторых тяжелых металлов в углях крупных бассейнов видно из данных табл. 2 [4]: в канско-ачинских – в расчете на 1 кг у.т. содержится на порядок меньше тяжелых металлов, чем в донецких и экибастузских углях.

Главная проблема, сдерживающая получение ценных элементов из углей, это, как правило, низкое их содержание. Вместе с тем известны пласты углей, в которых концентрация отдельных микроэлементов достигает величин, сопоставимых с их содержанием в рудах обрабатываемых месторождений.

Стоимость некоторых редких металлов, присутствующих в углях, в ряде случаев может превышать стоимость угля. Такие металлоносные угли могут рассматриваться как редкометалльные руды, а их органическое вещество – как попутный продукт.

Известно, что в золошлаковых отходах ТЭС содержание большинства хими-

Табл. 1 Классификация элементов-примесей в углях [2]

Группа малых элементов	Интервал содержания сухого вещества, г/т	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

Табл. 2 Содержание тяжелых металлов в различных углях, мг/кг у.т.

Угольный бассейн	Pb	As	V	Cr	Zn
Донецкий	51–63	23–24	36–51	33–45	21–120
Экибастузский	16–32	12–24	32–96	16–80	48–200
Канско-Ачинский	2–5	3–9	2–6	3–9	5–11

Табл. 3 Среднее содержание микроэлементов в различных углях и в их золах, г/т [5]

Микроэлемент	Уголь	Зола	Степень концентрации, раз
Be	2,7	10,5	>3,8
Cd	1,8	9,0	5,0
V	24,7	120,4	4,8
Cu	11,8	60,0	5,1
Zn	28	140,1	5,0
Hg	0,15	0,9	6,0
Pb	12,8	63,3	4,9
As	18,8	94,0	5,0
Ni	10,4	50,5	4,9

ческих элементов (за исключением легколетучих) в несколько раз выше их первичного содержания в исходном угле (табл. 3).

Данные табл. 3 свидетельствуют о высоком концентрировании некоторых микроэлементов в золах ТЭС.

«В России, Украине и некоторых других странах в промышленных масштабах проводится получение товарных соединений германия из углей и углистых пород» [6].

Авторы публикации [6] отмечают, что относительно высокое содержание микроэлементов в уловленной летучей золе или в золошлаковых отходах может позволить производство промышленного выделения ценных элементов пирометаллургическими и гидрометаллургическими методами или их сочетанием.

### Токсичные элементы-примеси в углях

Специалисты ИСЭМ СО РАН отмечают: «за рамками внимания природоохранительных организаций России при оценках экологической опасности топлив в современной практике остается без должного внимания поток в природную среду микроэлементов, в первую очередь тяжелых металлов, обладающих токсичными, канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами, способными к тому же усиливать эти негативные свойства в присутствии друг друга» [7].

По оценке специалистов [8], среднее (кларковое) содержание урана в углях составляет 3,6 г/т, а тория для бурых углей – 6,3 г/т, каменных – 3,5 г/т.

Угли, содержащие уран в концентрациях на один-два порядка выше кларка, известны во многих странах мира: в России, Турции, Франции, США и других.

Следует отметить, что содержания урана и тория в углях в большей части угольных месторождений России не превышают кларковых значений, но имеются месторождения, в которых кларковые содержания урана и тория превышены в несколько раз. Причем эти месторождения разрабатываются без всякого радиационно-гигиенического контроля, уголь используется на ТЭС, в котельных и в печах индивидуальных домов. Зола и шлак, образующиеся при сжигании таких углей, обогащены естественными радионуклидами (ЕРН). Золошлаковые отвалы ТЭС, использующие уголь с повышенным содержанием радионуклидов, занимают огромные территории, образуя с годами, по сути, техногенные месторождения ЕРН.

По данным американских специалистов [9], к 2000 г., мировой суммарный выброс урана и тория в результате сжи-

гания угля составляет около 37 300 т ежегодно, причем около 7300 т поступает из США.

«В бурых углях пласта «Итатский» (Кемеровская область) выявлено повышенное содержание урана – 139 г/т, а в золошлаковом материале, образующемся при сжигании этого угля, содержание урана составляет 902,6 г/т» [10]. Такой золошлаковый материал с концентрацией в нем урана 0,09% относится по мировой классификации к рядовым урановым рудам (с диапазоном содержания урана 0,05–0,1%).

В табл. 4 представлены данные по повышенным концентрациям урана и тория в товарных углях, добываемых на некоторых угольных предприятиях в Кемеровской области [10–12].

Содержание урана в угле, добываемом на Итатском разрезе (см. табл. 4), значительно превышает среднемировые уровни для углей: средний – 56,9; вариации от 6 до 139 г/т.

Среднее содержание ртути в углях, добываемых в различных бассейнах мира, колеблется от 0,05 до 0,3 г/т [13]. Угли юго-западных бассейнов Китая в среднем содержат 0,55 г/т ртути. В США содержание ртути в углях в среднем составляет около 0,2 г/т при широком интервале – от 0,003 до 2,9 г/т. В угольных пластах Донбасса, расположенных в пределах (или вблизи) Никитского месторождения ртути, ее содержание в углях повышается до нескольких десятков грамм на тонну, а в отдельных линзах до 1000 г/т.

Проблема присутствия токсичных элементов в углях изложена в ряде монографий и статей, в частности, в публикациях Томского университета. Учеными этого университета [14] систематизированы имеющиеся данные по накоплению токсичных элементов в разрабатываемых или готовых к эксплуатации угольных месторождениях Сибири (табл. 5).

Повышенные содержания токсичных микроэлементов проявляются и в углях других бассейнов (справочник «Ценные и токсичные элементы в товарных углях России»):

- в Печорском бассейне – по содержаниям хрома, цинка;
- в Восточном Донбассе – по содержаниям ртути, хрома в сортовых антрацитах, ванадия и цинка – в промпродукте;
- в угле Приморского края – по концентрациям фтора, кадмия, сурьмы, цинка в товарных углях и продуктах обогащения;
- в Сахалинском бассейне – по содержаниям таллия, цинка.

### Воздействие на окружающую среду токсичных элементов, содержащихся в золошлаковых отвалах ТЭС

Замечено [15], что золошлаковые отвалы (ЗШО) ТЭС даже при выполнении необходимого комплекса мероприятий оказывают угнетающее воздействие на окружающую среду не только в зоне расположения таких хранилищ, но и далеко за их пределами вследствие пыления и загрязнения водного бассейна фильтрами токсичных соединений.

Существенное содержание зольной компоненты в поверхностном почвенном слое обнаружено в радиусе до 1 км от ЗШО ТЭС [16]. Концентрация токсичных элементов оказалась повышенной в кормах, потребляемых скотом на пастбищах вблизи золоотвалов.

Проведены исследования по изучению форм нахождения

Табл. 4 Содержание урана и тория в товарных углях некоторых угледобывающих предприятий Кемеровской области, г/т [11]

Предприятие	Содержание урана (U)	Содержание тория (Th)
Бутовская	5,9	7,9
ш. имени Волкова	–	9,6
ш. Бирюлинская	9,0	–
ш. Березовская	–	7,2
ш. Ягуновская	–	9,8
ш. имени Шевякова	7,8	9,0
Разрез Итатский*	56,9 (6,0–139)	2,4 (0,2–9,9)

\* Примечание: среднее значение, в скобках – интервалы значений (по данным [10, 12])

Табл. 5 Средние содержания и локальные значения концентраций токсичных элементов в углях, г/т [14]

Угольный бассейн	Zn	As	Cr	Co	Ni	Pb	Sb
Канско-Ачинский	14,2 (300)	0,7 (200)	22,3 (3320)	8,1 (320)	15,9 (300)	2,2 (60)	0,28 (9,1)
Кузнецкий	55,7 (2000)	7,21 (589)	21,3 (375)	8,2 (60,7)	32,1 (400)	15,8 (300)	0,45 (14,5)

\* Примечание: выделенным шрифтом даны опасные значения локальных концентраций токсичных элементов в углях

**Табл. 6 Кратность превышения ПДКп тяжелых металлов в почвах, прилегающих к золошлаковым отвалам (ЗШО) ТЭС Кемеровской области**

Элемент	Кратность превышения ПДКп	% проб от общего количества почв
Cu	1,5	67,0
	6,0	33,0
Ni	1,6–2,2	33,0
	2,5–7,5	67,0
Zn	2,0–2,7	44,4
Pb	1,7–3,8	100,0

токсичных элементов в ЗШО ТЭС Кемеровской области в системе «отходы – вода – почва» и оценка потенциальной опасности золоотвалов [17].

Установлено превышение предельно допустимых концентраций элементов в почве (ПДКп), прилегающей к ЗШО по санитарным нормам допустимых концентраций химических веществ. Максимальные концентрации подвижных форм тяжелых металлов в отвалах наблюдались по меди, никелю, цинку и свинцу. Высокие концентрации ванадия, молибдена, мышьяка, никеля, цинка, марганца и хрома отмечены как в водорастворимых формах золошлаковых отвалов, так и в грунтовых и поверхностных водах вблизи золоотвалов. Для этих элементов практически не существует барьеров при инфильтрации природных вод через ложе золоотвала. Вместе с тем в почвах, прилегающих к территории ЗШО, обнаружены высокие концентрации подвижных форм цинка, свинца, меди и никеля, превышающих значения ПДКп (табл. 6). Последнее говорит о переходе из ЗШО в почвы данных металлов, несмотря на низкие концентрации хрома, никеля и цинка в валовой форме.

**Содержание токсичных микроэлементов в летучей золе ТЭС**

Кроме основных элементов: Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, в твердых частицах дымовых уносов от ТЭС присутствуют тяжелые металлы. При выгорании органического вещества угля на ТЭС происходит испарение металлов, часть из которых конденсируется на аэрозолях и улетучивается с паром. Другая часть испарившегося металла конденсируется на частицах летучей золы. Так как мелкие частицы имеют наибольшую поверхность, на них происходит конденсация и трансформация паров металлов [18].

Распределение некоторых микроэлементов в различных по размеру частицах (фракциях) летучей золы неравномерно и обычно увеличивается с уменьшением размеров частиц. В связи с этим более мелкая зола, не уловленная золоуловителями, поступающая с дымовыми газами в атмосферу, содержит больше перечисленных элементов, чем средняя по составу зола исходного топлива. При этом концентрация микроэлементов в летучей золе возрастает на 1–2 порядка.

Изучение состава летучей золы Березовской ГРЭС–1, работающей на канско-ачинских углях, показало, что значительная часть микроэлементов, содержащихся в угле, поступает в атмосферу не с золой, а с субмикронными аэрозолями или в газообразной фазе, которые практически не улавливаются электрофильтрами [19].

Исследователями Ростовского государственного университета установлено [20], что при сжигании углей на ТЭС в атмосферу поступает в среднем:

- не менее 10% общей массы содержащихся в них Al, Co, Fe, Mn, Na, Se;
- 30% Cr, Cu, Ni, V;
- 50% Ag, Cd, Pb, Zn;
- 100% As, Br, Cl, Hg, Sb и Sc.

Расстояния, на которые могут разноситься от ТЭС частицы золы уносов, 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, в радиусе до 3 км. Частицы менее 10 нанометров (нм) и особенно менее 2,5 нм могут преодолевать сотни километров, прежде чем осядут. Аэрозоли часто выполняют функцию ядра конденсации металлов [18].

Несмотря на меры, принимаемые энергетиками по снижению выбросов в атмосферу, в результате работы ТЭС объемы ежегодных выбросов в атмосферу тяжелых металлов значительны. В табл. 7, по данным [18], со ссылкой на первоисточник, приведена информация о ежегодных выбросах в атмосферу тяжелых металлов в результате работы топливосжигающих установок в 15 странах Евросоюза в 1990 г.

В табл. 8, по данным АО «ВТИ» [21], представлена информация по среднему содержанию микроэлементов, выбрасываемых в атмосферу с летучей золой при сжигании на ТЭС углей различных бассейнов.

В табл. 9 приведены рассчитанные нами удельные средние содержания микроэлементов, выбрасываемых в атмосферу с летучей золой ТЭС, в расчете на производство 1 кВт·ч электро-

**Табл. 7 Выбросы тяжелых металлов при работе топливосжигающих установок**

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

**Табл. 8 Среднее содержание микроэлементов в летучей золе ТЭС**

Уголь, сжигаемый на ТЭС	Содержание микроэлементов, г/т					
	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Донецкого бассейна	2,5	85,5	246,3	194,1	223,5	158,3
Кузнецкого бассейна	23,6	33,1	41,1	33,1	–	100,1
Канско-Ачинского бассейна	15,3	33,24	24,9	59,8	149,6	124,6
Экибастузского бассейна	14,1	63,0	38,0	45,6	90,5	87,0

**Табл. 9 Расчетные показатели по содержанию микроэлементов в летучей золе углей, сжигаемых на российских ТЭС**

Уголь, сжигаемый на ТЭС	Значения показателей, мкг/кВт·ч					
	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Донецкого бассейна	9,7	332	955	753	867	614
Кузнецкого бассейна	77	109	135	109	–	328
Канско-Ачинского бассейна	18	39	29	69	174	145
Экибастузского бассейна	237	1058	638	766	1520	1462



## SCAD V.21

Система нового поколения, разработанная инженерами для инженеров и реализованная коллективом опытных программистов. Единая графическая среда синтеза расчетной схемы и анализа результатов

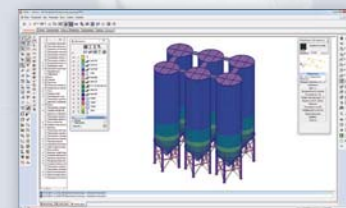
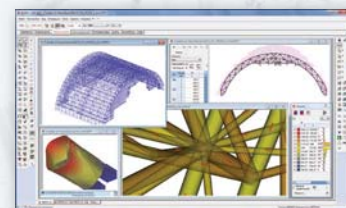
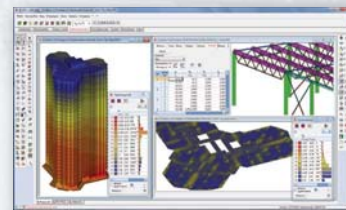
обеспечивает широкие возможности моделирования расчетных схем от самых простых до самых сложных конструкций, удовлетворяя потребностям опытных профессионалов и оставаясь при этом доступной для начинающих.

Высокопроизводительные прямые и итерационный алгоритмы разложения матрицы жесткости позволяют решать задачи большой размерности (несколько миллионов степеней свободы) в линейной и геометрически нелинейной постановке. Расчеты на различные виды динамических воздействий включают решение таких задач как сейсмика, пульсация ветра, гармонические колебания, импульс, удар, а также прямое интегрирование уравнений движения.

В состав комплекса включены модули анализа устойчивости, формирования расчетных сочетаний усилий, проверки напряженного состояния по различным теориям прочности, определения реакций от взаимодействия фрагмента схемы с остальной конструкцией, вычисления перемещений и усилий от комбинаций нагрузок, определения напряженно-деформированного состояния конструкции с учетом очередности возведения сооружения (монтаж), анализа амплитудно-частотных характеристик, учета усилий преднапряжения в элементах конструкции и др. Для совместного анализа нескольких вариантов расчетной модели реализован режим вариации моделей.

Библиотека конечных элементов позволяет учесть широкий диапазон свойств проектируемых конструкций при моделировании стержневых, пластинчатых, твердотельных и комбинированных систем.

Графические средства формирования расчетных схем включают наборы параметрических прототипов конструкций, позволяют автоматически сгенерировать сетку конечных элементов на плоскости, задать описание физико-механических свойств материалов, условий опирания и примыкания, а также нагрузок. Предусмотрена возможность сборки расчетных моделей из различных схем, а также широкий выбор средств графического контроля всех характеристик схемы. Реализован импорт геометрии расчетных схем из систем ALLPLAN, Revit Structure, ArchiCAD, Advance Steel, StruCAD, AutoCAD, 3D Studio, и др.



**Модули подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций учитывают требования различных нормативных документов (СНиП 2.03.01-84\*, СНиП 52-01-2003, СП 63.13330.2012). Экспертиза и подбор сечений элементов стальных конструкций выполняется согласно СНиП II-23-81\*, СП 16.13330.2011 и ДБН В.2.6-163:2010.**

Результаты расчета могут экспортироваться в табличном виде в редактор MS Word или электронные таблицы MS Excel. Графический анализ результатов расчета реализован в многооконной среде с возможностью одновременного анализа как различных фрагментов одной модели, так и различных моделей. Вывод перемещений включает реалистичное (с учетом профиля стержней и толщин пластин) отображение деформированной схемы, схемы прогибов, цветовую и цифровую индикацию значений перемещений в узлах, изополя и изолинии перемещений для пластинчатых и объемных элементов. Выполняется анимация форм колебаний для динамических и процесса деформирования — для статических нагрузок. Усилия в стержневых элементах представляются в виде эпюр и цветовой индикации с возможностью отображения на элементах максимальных значений выбранного силового фактора. Усилия и напряжения в пластинчатых и объемных элементах выводятся в виде изополей и изолиний в указанном диапазоне цветовой шкалы с возможностью одновременного отображения числовых значений факторов.

Сертификат соответствия:  
РОСС RU.СП15.Н00892



ООО "АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РАБОТ"

энергии.

В расчетах использованы данные табл. 8 и показатели по удельным выходам золы всего (г/кВт·ч), по оценкам АО «ВТИ» [21], при сжигании на ТЭС углей различных месторождений. Показатели содержания микроэлементов рассчитаны нами для значений КПД установок золоулавливания на ТЭС, равными 96%.

**Воздействие на окружающую среду и здоровье людей элементов-примесей, выбрасываемых с летучей золой ТЭС**

В исследовании, проведенном на Новочеркасской ГРЭС [22], показано, что диаметр большинства твердых частиц, выбрасываемых в атмосферу, лежит в интервале от 0,01 до 150 мкм, при этом на долю частиц диаметром до 5 мкм приходится почти 42%. Частицы такого размера проникают в растения, организмы животных и человека, распределяются по органам и тканям, растворяются в биожидкостях, достигая мишенной биологического действия. Установлено, что длительное воздействие наночастиц магния и цинка (эти элементы входят в состав летучей золы ГРЭС), наносимых на раны экспериментальных животных в виде водной суспензии, увеличивает время их заживления [22].

Наночастицы, входящие в состав летучей золы, обладают высокой биологической активностью, легко проникают в организм живых систем, разносятся по всем органам и тканям [18].

Известно, что металлы сравнительно быстро накапливаются в почве и крайне медленно из нее выводятся, приводя к повышенному, по сравнению с фоновым, уровню в зонах пахотного земледелия зерновых культур, пастбищ, сенокосов, многолетних насаждений и населенных пунктов.

*«Вследствие увеличения числа взвешенных частиц в воде, изменения рН концентрация кислорода в воде снижается, возникает угроза жизнедеятельности представителей водной фауны. Высвобождение из пылевых частиц 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, токсичны для пастбищных животных. Почвы с высоким уровнем Mo могут вызывать, например, молибдениоз рогатого скота»* [18].

Анализ заболеваемости органов дыхания у населения, проживающего в зоне 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 – 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 [18].

Исследованиями ВНИИгидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова [23] установлено воздействие на окружающую среду и, в частности, на почвы выбросов тяжелых ме-

таллов от Рязанской ГРЭС. По оценке АО «ВТИ», содержание металлов в летучей золе Рязанской ГРЭС в 10 раз и более превышает значение фоновой концентрации соответствующих элементов в почвах Русской равнины (табл. 10).

Показано, что существует реальная опасность загрязнения сельхозпродукции, в т. ч. животноводческой, через корм скоту, имеющим повышенное содержание привнесенных элементов от Рязанской ГРЭС [23].

В исследованиях института Фундаментальных проблем биологии РАН, оценено загрязнение Челябинска и его окрестностей тяжелыми металлами (Cu, Co, Ni, Zn, Pb, Cd, Cr, Mo, Hg) [24] и мышьяком [25], источником которых служат 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 теплоэнергетических установок. Загрязнение поверхностных и подземных вод региона происходит в результате смыва, фильтрации и выщелачивания токсичных веществ из ЗШО 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 [24]. Содержание мышьяка в почвах оказалось выше ПДК в 7–18 раз, а в почвах садово-огородных участков и сельскохозяйственных угодий – в 7–19 раз [25]. В дождевой воде, в коре тополя, в биомассе кукурузы и надводной биомассе тростника обнаружено повышенное содержание мышьяка и тяжелых металлов. Повышенное содержание этих веществ стало результатом их 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.

Установлено загрязнение мышьяком и тяжелыми металлами воды и донных отложений р. Миасс и озера Первое, дренирующих территорию Челябинска и его окрестностей. По оценке ученых, геоэкологическую ситуацию этого региона следует считать крайне неблагоприятной 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 сельскохозяйственных угодий. 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 [24, 25].

В международных исследованиях большое внимание уделяется проблеме выбросов ртути в атмосферу от ТЭС, негативному воздействию выбросов ртути на биосферу и на здоровье людей. Энергетики США и Западной Европы постоянно занимаются внедрением на энергетических котлах различных способов сокращения выбросов в атмосферу ртути. В 2000 г. американское Агентство по защите окружающей среды объявило о подготовке законодательного ограничения по выбросам ртути. В соответствии с этим законом выбросы ртути на угольных ТЭС должны быть снижены на 90% [26].

К сожалению, в России не принимаются меры по защите окружающей среды от негативного воздействия выбросов в атмосферу ртути от угольных ТЭС.

По [26] «с учетом рассеивания (при наличии высоких дымовых труб угольных ТЭС) концентрация ртути, выбрасываемой

**Табл. 10 Содержание тяжелых металлов в выбросах Рязанской ГРЭС и в почвах Русской равнины**

Металл	Содержание металлов, мг/кг	
	в летучей золе	в почвах (по Виноградову)
Cu	400	20
Zn	791	50
Pb	188	10
Cd	6,0	0,13





мой в атмосферу с дымовыми газами, 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».

### Заключение

Приведенные данные подтверждают оценку известного российского геохимика Я.Э. Юдовича [27]: «уголь нельзя рассматривать только как энергоноситель: это комплексное полезное ископаемое, и комплексное «вредное ископаемое», которое при использовании приводит к значительным негативным воздействиям на биосферу и здоровье людей».

Вышеизложенные данные дают основание для утверждения, что угольные бассейны обладают высоким ресурсным потенциалом как источник ценного минерального сырья. Промышленное освоение этого сырья на территории угольных бассейнов и ТЭС позволит не только получить ряд ценных элементов для экономики, но и существенно улучшить экологическую обстановку в этих регионах.

### Информационные источники:

1. Изъеззон Н.Б. Реализуема ли программа – 2030? // Уголь. 2013. №1. С. 44–47.
2. Жаров Ю.Н. Малые элементы в твердых каустобиолитах // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. О-ва им. Д.И. Менделеева). 1994. №5. С. 12–19.
3. Рихванов А.П., Еришов В.В., Арбузов С.И. Комплексное эколого-геохимическое исследование углей // Уголь. 1998. №2. С. 54–57.
4. Кропф Л.И., Стырикович М. А., Хорьков А. В. Использование энергетических углей и экологические стандарты // Теплоэнергетика. 1997. №2. С. 7–12.
5. Штирт М.Я., Пуланова С.А. Сравнительная оценка микроэлементного состава углей, нефти и сланцев // Химия твердого топлива. 2007. №5. С. 15–28.
6. Штирт М.Я., Нукенов Д.Н., Пуланова С.А. Принципы получения соединений ценных металлов из горючих ископаемых // Химия твердого топлива. 2013. №2. С. 3–13.
7. Чебаненко Б. Б., Майсок Е.П. Оценка экологической опасности при использовании органических топлив // Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию: Тр. междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1999. С. 219–227.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л.: Наука. – 1985. – 239 с.
9. Родс Р., Беллер Д. Потребность в ядерной энергии. Взгляд на трудное энергетическое будущее мира // Бюллетень МАГАТЭ. 2000. Т. 42. №2. С. 43–50. (42/2/2000 – июнь 2000 г.). Вена.
10. 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.
11. 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 углекислоты СО РАН, 2003. 100 с.
12. Исхаков Х.А., Счастлицев Е.А., Кондратенко Ю.А., Лесина М.А. Радиоактивность углей и золы // Кокс и химия. 2010. №5. С. 41–45.
13. Штирт М.Я., Пуланова С.А. Особенности накопления ртути в нефтях, углях и продуктах их переработки // Химия твердого топлива. 2011. №5. С. 42–49.
14. Волостнов А.В., Арбузов С.И. Токсичные элементы в углях Сибири // Энергетик. 2011. №3. С. 39–43.

Российские угольные ТЭС становятся постоянным источником загрязнения микроэлементами окружающей среды. Это происходит в результате концентрирования большого количества микроэлементов в золошлаковых отвалах и в выбросах ТЭС. Негативное воздействие микроэлементов на окружающую среду и здоровье населения происходит при прохождении газового шлейфа ТЭС через населенные пункты, выпадении не уловленной части золы на почву и дальнейшей миграции микроэлементов по пищевым цепочкам в организмы человека и животных. Снизить негативное воздействие микроэлементов на население, проживающее в районах расположения ТЭС, способен хорошо организованный контроль как за содержанием микроэлементов в углях, так и за содержанием таких элементов в летучей золе угольных ТЭС. Для этого на российских ТЭС необходим переход от использования существующих электрофильтров к высокоэффективным золоуловителям, способным эффективно улавливать субмикронные частицы.

Наряду с низкой эффективностью золоулавливающего оборудования, 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 угольного топлива на ТЭС. Обогащенные угли на ТЭС как не поставлялись раньше, так не поставляются и сейчас» [28].

Для достижения целей развития современной электроэнергетики России необходимо добиваться поставки на ТЭС обогащенных углей с зольностью, уровень которой отвечал бы мировым экологическим стандартам (5–15%).

Еще один барьер на пути развития отечественной экологически эффективной угольной генерации – низкий уровень утилизации золошлаковых отходов ТЭС. Золоотвалы стали символом технической отсталости и низкой экономической эффективности угольных ТЭС. Как отмечается [28], «золошлаковые отвалы угольных российских ТЭС накоплены в огромном количестве – 1,5 млрд т. Ежегодно утилизируется и используется не более 8% (2,1 млн т) выхода золошлаковых отходов. В отличие от России в Германии и Дании в производстве строительных материалов используется до 100% годового выхода золошлаковых отходов. В Германии в настоящее время запрещено иметь золошлакоотвалы».

15. Путилов В.Я., Путилова И.В. Проблемы обращения с золошлаками ТЭС в России: барьеры, возможности и пути решения // Теплоэнергетика. 2010. №7. С. 63–66.
16. Сысоев Ю.М., Барабошкина Т.А. Некоторые аспекты оценки воздействия золоотвалов ТЭС на окружающую среду // Энергетик. 1997. №6. С. 6–8.
17. Журавлёва И.В., Иванюкина О.В. Изучение распределения тяжелых металлов в системе отходы-вода-почва для золошлаковых отходов Кемеровской области // Эко-бюллетень ИнЭЖА. 2008. №5. С. 39–42.
18. Глуценко Н.Н., Ольховская И. П. Экологическая безопасность энергетики. Свойства частиц летучей золы ТЭС, работающих на угле // Изв. РАН. Энергетика. 2014. №1. С. 20–27.
19. Берсенева А.П., Гаврилов Е.И., Егоров С.А. Загрязнение подстилающей поверхности золовыми выбросами ГРЭС КАТЭК // Теплоэнергетика. 1997. №12. С. 12–17.
20. Кизильштейн А.Я., Левченко С.В. Элементы-примеси и экологические проблемы угольной энергетики // Теплоэнергетика. 2003. №12. С. 14–19.
21. Ольховский Г.Г., Тулановский А.Г., Глебов В.П. и др. Проблемы охраны воздушного бассейна от воздействия тепловых электрических станций и их решения // Изв. РАН. Энергетика. 1997. №5. С. 5–17.
22. Глуценко Н.Н., Богословская О.А., Байтукалов Т.А. и др. Экологические аспекты энергетики. Биологические свойства твердых частиц дымовых уносов тепловых электростанций, работающих на угле // Изв. РАН. Энергетика. 2008. №4. С. 129–137.
23. Мажайский Ю.А., Захарова О.А., Евтохин В.Ф., Тобратов С.А. Техногенное загрязнение окружающей среды в зоне воздействия Рязанской ГРЭС // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2000. №10. С. 29–31.
24. Галицунин Р.В., Галицулина Р.А. Загрязнение территории Челябинска тяжелыми металлами при сжигании угля // Химия твердого топлива. 2013. №2. С. 62–64.
25. Галицунин Р.В., Галицулина Р.А. Загрязнение территории Челябинска и его окрестностей мышьяком при сжигании угля // Химия твердого топлива. 2011. №3. С. 58–60.
26. Коплер В.Р., Сосин Д.В. ТЭС и проблема выбросов ртути // Энергохозяйство за рубежом. 2009. №1. С. 25–28.
27. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2005. – 655 с.
28. Кожуховский И.С. Перспективы развития угольной энергетики России // Энергетик. 2013. №1. С. 2–13.