

**Янин Е.П. Эмиссия ртути в атмосферу при сжигании каменного угля в России // Ресурсосберегающие технологии, 2006, № 3, с. 3–14.**

Добыча и использование каменных углей является одним из важнейших источников загрязнения окружающей среды химическими элементами и их соединениями, присутствующими в ископаемом топливе в качестве естественных примесей. В ранее опубликованных работах была оценена эмиссия ртути в окружающую среду при производстве металлургического кокса в России [21, 22]. В частности, общая эмиссия этого металла в атмосферу коксохимической промышленностью страны в 2001 г. составила порядка 1,3 т, из которых около 1,2 т – непосредственно в ходе коксования углей. В предлагаемой работе предпринята попытка количественно оценить эмиссию ртути в атмосферу при сжигании каменного угля в России в начале XXI в.

**Добыча каменного угля в России**

Общие разведанные запасы угля в России оцениваются в 201 млрд. т, большая часть из которых сосредоточена в месторождениях Западной и Восточной Сибири [3]. В России действует порядка 60 угледобывающих акционерных обществ (без учета дочерних) и 5 государственных унитарных предприятий по добыче угля; 70% добычи угля приходится на долю частных угольных компаний [12]. Преобладает открытая добыча угля (табл. 1).

Таблица 1. Добыча угля (в системе Минэнерго РФ\*) в 2000-2001 гг., млн. т [10]

Показатель	2000 г.	2001 г.
Всего	254,9	266,32
в т. ч.:		
<i>по экономическим районам страны:</i>		
Северный	18,83	19,07
Центральный	0,76	1,04
Северо-Кавказский	9,79	9,46
Уральский	6,81	5,09
Западно-Сибирский	114,66	127,96
Восточно-Сибирский	75,61	75,69
Дальневосточный	22,12	28,01
<i>по угольным бассейнам:</i>		
Кузнецкий	114,4	127,44
Донецкий	9,79	9,46
Печорский	18,41	18,78
Канско-Ачинский	39,77	38,18
<i>по способам добычи:</i>		
Подземный	89,86	95,79
Открытый	164,6	170,53
Добыто угля для коксования	59,63	62,33
в т. ч. по угольным бассейнам:		
Кузнецкий	45,53	48,31
Донецкий	0,3	0,39
Печорский	8,88	8,81
Южно-Якутский	4,92	4,82

\* Оставшаяся незначительная часть угля добывается предприятиями, которые курируются МПР РФ, местными органами власти и т. д.

Большая часть российского угля (до 76-77%) добывается в Сибири. Так, в 2001 г. более 48% угля было добыто в Западно-Сибирском экономическом районе и более 28% – в Восточно-Сибирском районе 30%, причем до 45-47% всей добычи угля в России стабильно приходится на Кузнецкий бассейн; здесь же добывается 78-81% коксующихся углей страны. В Кузбассе функционируют более 50 шахт, 37 разрезов, 17 обогатительных фабрик; в отрасли работают около 150 тыс. чел. (почти половина от работающих в угольной промышленности России); ежегодно перерабатывается до 56% добываемых углей с выходом 44-45% обогащенного и 11-12% сортового угля [7]. Порядка 14-15% российского угля добывается (Красноярской угольной компанией) в Канско-Ачинском угольном бассейне; 10-11% – в Приморском крае.

#### Уголь в системе теплоэнергетики России

В 2001 г. в России было выработано 888 млрд. кВт-ч электроэнергии; доля гидроэлектростанций в общей выработке составила 19,7%, атомных электростанций – 15,4%, тепловых – 64,9% [10]. Геотермальными станциями произведено 33,5 млн. кВт-ч электроэнергии, гидроаккумулирующей станцией (Загорская ГАЭС) – 1950,6 млн. кВт-ч. Структура производства электроэнергии (в зависимости от используемых топливно-энергетических ресурсов) на электростанциях страны в 2001 г. была следующей (в %): газ – 43,1; гидроэнергия – 19,7; уголь – 18,3; атомная энергия – 15,4; мазут – 2,9%; прочие – 0,6. В производстве электроэнергии на тепловых электростанциях доля угля в 2001 г. составила 28,3%. В 2000 г. в структуре потребления топлива теплоэлектростанциями России доля газа составляла 60,6%, угля 34,1%, мазута – 5,35. На европейской территории страны доля мазута составляла 10,7%, угля 16,8%, природного газа 72,5% (Уголь, 2001, № 8). В 1991 г. в энергетике России структура использованного топлива выглядела следующим образом: уголь – 26,9%, мазут – 13,4%, природный газ – 59,6%, торф – 0,2% [14].

Теплоснабжение России в 2001 г. обеспечивали 485 теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), около 6,5 тыс. котельных мощностью более 20 Гкал/час (в основном муниципальные), более 180 тыс. мелких котельных (в основном муниципальные), около 600 тыс. автономных индивидуальных теплогенераторов [15]. Суммарная реализация тепла в стране составила 2060 млн. Гкал/год, из которых 1086 млн. Гкал/год потребляли жилой сектор и бюджетная сфера, 974 млн. Гкал/год – промышленность и прочие потребители. Указанные выше 485 ТЭЦ вырабатывают 71% тепловой энергии (1462,6 млн. Гкал/год), муниципальные котельные – 372 млн. Гкал/год тепловой энергии, или 18,1% от общего количества в стране. В структуре потребления топлива муниципальными котельными доля природного газа составляла 44%, мазута – 11%, угля – около 45% [15]. В стране также функционируют 25 тепловых электростанций (они не входят в структуру различных акционерных обществ типа АО «Энерго»), которые в качестве дополнительного (вторичного) топлива (наряду с мазутом, углем и газом) используют отходы лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности (так называемую биомассу). В 2000 г. они выработали 4,5 млрд. кВт-ч электроэнергии, в том числе 1,9 млрд. кВт-ч за счет биомассы [2].

Общая структура производства и потребления топливно-энергетических ресурсов в России в 2001 г. отражена в табл. 2.

#### Поведение руты в ходе предварительной подготовки углей

Существенную часть добытых углей подвергают предварительной подготовке, которая включает операции дробления, сортировки, обогащения, брикетирования и сушки [13]. Дробление угля может представлять собой как самостоятельную, так и подготовительную операцию для последую-

шего их обогащения, брикетирования, коксования и т. д. Сортировка углей преследует цель разделения рядовых углей на классы, содержащие куски установленных размеров. Она производится при помощи последовательного отсева углей на грохотах с отверстиями сит размером, соответствующим крупности товарных углей. Сортировка углей также широко используется для разделения продуктов обогащения на классы крупности.

Таблица 2. Структура (в %) производства и потребления топливно-энергетических ресурсов в России в 2001 г. [9]

Топливо-энергетические ресурсы	Производство	Потребление
Природный газ	47,7	49,9
Нефть	32,8	21,4
Уголь	12	17,6
Первичная электроэнергия	6,9	10,1
Прочие	0,6	1
Всего (млн. тонн условного топлива)	100 (1409)	100 (911,6)

Брикетирование углей является обязательным для мелких классов товарных углей и концентратов, которые не могут использоваться в полученной крупности. Оно также необходимо и при длительных перевозках для исключения пыления и смерзаемости угольной пыли. При обогащении углей применяются гравитационные процессы (для углей крупностью от 0,5 до 300 мм) и флотация (для обогащения мелких классов, <1 мм). Продуктами обогащения являются: концентрат, содержащий наиболее чистый уголь; промпродукт, в котором содержится наибольшее количество сростков углей с минеральными образованиями; хвосты – продукт с наибольшим содержанием частиц вмещающих пород (обычно в хвосты переходит существенная часть содержащегося в углях пирита – основного носителя ртути). Побочными продуктами при обогащении являются: отсев – необогащенный мелкий уголь, пыль – частицы угля менее 0,5-1 мм, шлам – частицы пылевидного угля, накапливающиеся в моечных и технологических продуктах. В зависимости от зольности побочные продукты присаживаются к концентрату или промпродукту.

В ходе предварительной подготовки и обогащения углей в большинстве случаев происходит определенное снижение уровней содержания в них ртути, что в существенной мере обусловлено формами нахождения ртути в углях и технологическими особенностями их обогащения, в ходе которого пирит (основной концентрат ртути) уходит преимущественно в отходы (хвосты) обогащения. Я.Э. Юдович и др. [20], обобщая данные по формам нахождения ртути в углях, отмечают, что в углях с фоновыми (нормальными, или, как иногда говорят, кларковыми) содержаниями этого металла доминируют две формы: ртуть, связанная с пиритом ( $Hg_{\text{пир}}$ ) и ртуть, связанная с органическим веществом ( $Hg_{\text{орг}}$ ). Обычно тяжелые фракции углей в 6-7 раз богаче ртутью, чем легкие. В составе  $Hg_{\text{орг}}$ , по-видимому, имеется две формы ртути: физически сорбированная и в соединениях с органическим веществом типа гуматов. В более сернистых углях (с повышенным содержанием пирита) вклад  $Hg_{\text{пир}}$  в баланс ртути более значителен. В углях, аномально обогащенных ртутью, встречаются также металлическая ртуть и киноварь. Такие формы нахождения ртути в углях определяют ее распределение по продуктам обогащения углей: обеднение этим металлом товарных продуктов и накопление его в богатых пиритом хвостах (отходах). Сказанное иллюстрируется данными, приведенными в табл. 3, из которых следует, что концентраты (обогащенный уголь) характеризуются более низкими концентрациями ртути, нежели рядовые угли. Этот факт следует учитывать при оценках эмиссии ртути (особенно при использовании для этих целей литературных сведений о ее содержании в «натуральных» углях).

Таблица 3. Среднее содержание ртути в товарной продукции Печорского угольного бассейна [19]

Тип угля	Hg, мг/кг сухого топлива	Месторождения
Коксующиеся		
Рядовой	0,073	Хальмеръюское, Воркутское, Юньягинское, Воргашское
Концентрат	0,040	Воркутское и Воргашское
Отсев	0,039	Воркутское и Воргашское
Промпродукт	0,050	Воркутское
Энергетические		
Рядовой	0,08	Воркутское
Концентрат	0,05	Интинское
Отсев	0,06	Интинское

В 2001 г. отечественными обогатительными фабриками было переработано 77,8 млн. т угля, или более 29% годовой добычи (табл. 4). Кроме того, на установках механизированной породовыборки переработано 18,75 млн. т угля. Таким образом, по угольной промышленности всего переработано 96,55 млн. т угля, или более 36% общего объема поднятого угля.

Таблица 4. Переработка угля на обогатительных фабриках России в 2000-2001 гг., млн. т [10]

Показатель	2000 г.	2001 г.
Переработка угля, всего	78,91	77,80
в т. ч. для коксования	52,11	52,63
Выпуск концентрата, всего	44,64	45,09
в т. ч. для коксования	34,88	35,54
Выпуск сортовых углей	17,66	16,87
в т. ч. антрацитов	2,26	2,39

#### Использование каменного угля в России

В табл. 5 приведены сведения об объемах и основных сферах использования угля в России в 2000-2001 гг.

Таблица 5. Поставки углей основным отечественным потребителям в 2000-2001 гг., тыс. т (рассчитано по [10])

Показатель	2000 г.		2001 г.	
	тыс. т	%	тыс. т	%
Поставка российских углей	208757,4		207922,4	
Импорт энергетических углей из Казахстана (Экибастуз)	25100		25500	
Импорт коксующихся углей из Казахстана (Караганда)	800		833	
Общая поставка угля российским потребителям	234657,4	100	234255,4	100
в т. ч.:				
- на нужды электроэнергетики*	128315,8	54,7	124277,5	53,1
- для коксования	42873,5	18,3	41728,4	17,8
- для населения	7399,8	3,1	7584,8	3,2
- на коммунально-бытовые нужды	13156,8	5,6	17569,7	7,5
- аграрно-промышленный комплекс	1142,4	0,5	908,2	0,4
- остальные потребители**	41769,1	17,8	42186,8	18,0

\* В 2001 г. резервные запасы угля на электростанциях РАО «ЕЭС России» составляли 24400 тыс. т (Яновский, 2002); можно считать, что остальная часть углей (~100000 тыс. т) в течение года была использована в электроэнергетике.

\*\* В данном случае, судя по всему, речь в основном идет об использовании угля в промышленности, причем не только для прямого сжигания, но и для их переработки (полукоксование, газификация, гидрогенизация, получение карборунда, карбида кальция, термоантрацита, углеродных сорбентов, термографита и др.); большинство этих процессов основано на высокотемпературной обработке углей, что априори обуславливает эмиссию содержащейся в них ртути в атмосферу.

По оценке [5], в 2000 г. годовое потребление угля в России составило 243,2 млн. т, причем 57% пришлось на долю электроэнергетики, 12% – на бытовой сектор (т. е. для населения и на коммунально-бытовые нужды), примерно 20% – использовано для коксования; остальная часть угля использовалась для прямого сжигания в ряде отраслей промышленности. Как видим, данная оценка неплохо соотносится с выше приведенной. Необходимо отметить, что до 88-90% бурого угля поступает на выработку электрической и тепловой энергии (говоря иначе, сжигается в топках теплоэлектростанций), примерно 5-6% используется в промышленности и на бытовые нужды; остальное – для технологической переработки (коксование, полукокс, производство гранулированных адсорбентов и др.). В 2001 г. потребление каменного угля практически осталось на уровне 2000 г., тогда как потребление бурого угля возросло более чем на 30% [5].

### Уровни содержания ртути в товарных углях России

Для оценки среднего содержания ртути в российских углях воспользуемся данными Справочника [18], который является итогом специальных работ и в существенной мере составлен на материалах ревизионного опробования товарной продукции предприятий угольной промышленности страны в 1988-1991 гг. Для обоснования и контроля полученных результатов привлекались данные опробования 1960-1970-х гг. В общей сложности банк используемых данных включает анализы 13,5 тыс. проб товарных углей на ртуть и еще на 25-50 химических элементов. Опробование углей осуществлялось в соответствии с номенклатурой товарной продукции угольных предприятий. При прочих равных условиях предпочтение отдавалось рядовым углям. На предприятиях, выпускающих только сортовые угли, исследовался доминирующий в шахтовываде сорт. Справочник основан на результатах исследования специально составленных групповых проб, характеризующих продукцию конкретного угольного предприятия за максимально длительный период. На предприятии отбиралось не менее трех групповых проб, принадлежащих одной технологической группе (марке) и соответствующих качеству продукции не менее чем за календарный месяц. В свою очередь, каждая групповая проба составлена из 3-15 и более первичных проб угля (в зависимости от конкретной геологической и производственной ситуации и ряда других условий). В качестве первичных проб были использованы дубликаты проб, отбираемых Отделом технического контроля и углехимическими лабораториями соответствующих угольных предприятий с целью оценки качества угля, отгружаемого потребителю (в частности, использовались: дубликаты проб, характеризующих текущую выдачу угля угольным предприятием; пробы, среднемесячных проб, составленные из проб текущей выдачи и характеризующие продукцию, выдаваемую предприятием за месяц; суточные, сменные и другие пробы, оценивающие текущую работу предприятия). При формировании групповых проб учитывалось количество угля, отгружаемого потребителю, долевое участие рабочих пластов угля в шахтовываде и другие показатели). Периоды опробования (формирования групповой пробы) составляли от 3 до 12 месяцев. При опробовании товарных углей использовалась система контроля, предусматривающая выбраковку неподходящих по зольности первичных проб угля. Первичная проба исключалась из массива, если ее зольность отличалась на  $\pm 10\%$  (относительных) от зольности среднемесячной расчетной пробы. Распределение ртути в пробах осуществлялось атомно-абсорбционным методом. Сказанное позволяет считать, что представленные в справочнике сведения о содержании ртути в товарных углях России являются репрезентативными и в высокой степени объективно отражают реальное распределение ртути в их основных типах (марках).

В табл. 6 приведены сведения о добыче угля в различных регионах России в 2001 г., о средних содержаниях ртути в товарном угле и о массе ртути, присутствующей в товарных углях. Среднее содержание ртути в углях Кемеровской области (почти 47% всех добываемых углей страны) оцени-

вается в 0,094 мг/кг. Простые расчеты показывают, что средневзвешенное содержание ртути в углях России составляет 0,082 мг/кг; средневзвешенное содержание ртути в углях Республики Коми, Красноярского края и Кемеровской области (где добывается 68% всех углей страны) – 0,08 мг/кг; средневзвешенное содержание ртути в углях Республики Коми, Красноярского края, Кемеровской области, Читинской области и Ростовской области (77% углей России) – 0,076 мг/кг.

Таблица 6. Добыча угля, среднее содержание ртути в угле и ее масса в товарном угле, Россия, 2001 г.

Регион, область	Добыча угля, млн. тонн [16]	Среднее содержание ртути в товарном угле, мг/кг*	Масса ртути, содержащаяся в товарных углях, тонны
Калужская область	0,05	0,257	0,013
Тульская область	1	0,257	0,257
Коми	18,8	0,052	0,978
Мурманская область	0,3	0,05	0,015
Пермская область	?	0,438	?
Ростовская область	9,5	0,077	0,732
Башкирия	0,06	0,05	0,003
Свердловская	1,8	0,05	0,09
Челябинская область	3,3	0,05	0,165
Бурятия	3,9	0,0087	0,034
Тыва	0,6	0,05	0,03
Хакасия	6,8	0,05	0,34
Алтайский край	0,01	0,05	0,0005
Красноярский край	38,7	0,05	2
Иркутская область	15,3	0,02	0,306
Кемеровская область	126	0,0935	11,78
Новосибирская область	0,5	0,05	0,25
Читинская область	14,3	0,01125	0,161
Саха-Якутия	9,7	0,02	0,194
Приморский край	9	0,11	0,99
Хабаровский край	2,3	0,4	0,92
Амурская область	2,7	0,85	2,3
Сахалинская область	?	0,11	?
Россия в целом	~ 269,3	-	~ 22 тонны

\* Рассчитано по [18].

Таким образом, есть все основания считать, что уровень в 0,08 мг/кг (интервальные значения 0,07-0,09 мг/кг) достаточно объективно отражает среднее содержание ртути в товарных углях России, используемых на объектах теплоэлектроэнергетики. По В.Р. Клеру и др. [11], так называемое «среднее фоновое» содержание ртути в углях быв. СССР оценивается в 0,05 мг/кг, причем данное значение – что показательно – является модой для приведенных в табл. 6 содержаний.

#### Эмиссия ртути при добыче и обогащении углей

Источниками эмиссии ртути в атмосферу при угледобыче являются угольные (и породные) отвалы. Например, по данным С.В. Алистратова [1], средние содержания ртути в отвалах Подмосковного угольного бассейна варьируются от 0,24 до 1,3 мг/кг, достигая в отдельных точках 3,3 мг/кг. Концентрация ртути в разных отвалах может различаться в несколько раз в зависимости от пород, составляющих отвалы, времени их отсыпки и интенсивности гипергенной переработки. Автор цитируемой работы отмечает, что при гипергенных изменениях грунтов отвалов часть ртути улетучивается в атмосферу, что обуславливает формирование ее атмогеохимических потоков.

Особое значение имеет самовозгорание угля в шахтах, углеразрезах, в естественном залегании и в отвалах пород, которое может сопровождаться поступлением ртути в атмосферу. При горении отвалов температуры достигают 800-1000°С и более (в скрытых воронках), что приводит к разрушению сульфидных и глинистых минералов, выгоранию всех органических веществ. Ртуть, содержащаяся в породах, возгоняется и улетучивается в атмосферу. Не исключено, что горящие терриконы углеобогатительных фабрик могут давать определенный выброс паров ртути в атмосферу, поскольку отличаются повышенными содержаниями ртути в пиритном концентрате. По расчетам Л.А. Добрянского и др. [6], от всей массы горных пород, поступившей на терриконы угольных шахт Горловки в 1989 г., эмиссия ртути в результате ее дегазации составила 230 кг/год. Обогащение ртутью атмосферы на терриконах подтверждалось и прямыми замерами. В частности, на породных терриконах шахт г. Горловки концентрации паров ртути в воздухе летом 1990 г. варьировались от 57 до 13700 нг/м<sup>3</sup>, причем измерения проводились в период остановки металлургического цеха Никитовского ртутного комбината, т.е. влияние последнего практически исключалось.

Если ориентироваться на приведенные выше сведения, то с определенной долей условности общая эмиссия ртути в ходе добычи и обогащения угля на российских предприятиях может быть оценена примерно в 1 т/год (при интервале в 0,9-1,1 т/год).

#### Технологические особенности российских объектов теплоэлектроэнергетики

На российских объектах теплоэнергетики топливо сжигается в котлах низкого, высокого, сверхвысокого и сверхкритического давлений производительностью соответственно до 75 т/ч, 200 т/ч, 500 т/ч и более 500 т/ч пара. Топочные устройства (топки) разделяются на слоевые и камерные. В топках первого типа основная масса твердого топлива сгорает в слое, в топках второго типа – во взвешенном состоянии. Камерные топки делятся на факельные и вихревые (циклонные). В свою очередь, факельные топки для сжигания твердых топлив в зависимости от отвода шлака и золы могут быть с сухим (твердым) шлакоудалением и с жидким шлакоудалением. В России наибольшее распространение имеют топки с твердым шлакоудалением, в которых часть золы (до 10-15%) выпадает в шлаковый бункер, а остальная часть уносится топочными газами в газоходы котла. В топках с жидким шлакоудалением (одно- или двухкамерных) доля летучей золы меньше, нежели в топках с твердым шлакоудалением, но все же значительна. В однокамерных топках она в среднем оставляет 30-40%, в двухкамерных – 50-60%. На крупных (мощных) электростанциях (более 300 МВт) обычно применяются камерные топки с твердым шлакоудалением, реже – открытые и полуоткрытые топки с жидким шлакоудалением. На ЕЭЦ средней мощности (50-300 МВт), кроме указанных выше, могут использоваться также циклонные топки. На небольших электростанциях и в котельных (менее 50 МВт) чаще других применяются циклонные топки.

На российских энергетических объектах применяют следующие виды золоуловителей: сухие инерционные золоуловители, мокрые золоуловители, электрофильтры, комбинированные золоуловители. Циклоны и блоки циклонов применяются для очистки продуктов сгорания парогенераторов малой мощности; в батарейных циклонах достигается лучший отвод уловленного уноса и повышенный КПД (82-90%). Они устанавливаются на котлах производительностью от 25 до 320 т/ч. В мокрых золоуловителях улавливание уноса производится путем осаждения его на пленку жидкости, находящейся внутри поверхности аппарата. Для парогенераторов малой и средней производительности (90-100 т/ч) применяют центробежные скрубберы, представляющие собой вертикальный прямоточный циклон, внутренняя система которого непрерывно орошается водой. Для парогенераторов производительностью 120-150 т/ч основным типом применяемых мокрых золоуловителей является золоуловитель с турбулентными коагуляторами внутри. Используются также (обычно для

котлов средней мощности) вертикальные и горизонтальные сухие и мокрые электрофильтры. В середине 1990-х гг. средний коэффициент золоулавливания для российской энергетики оценивался в 0,91. Для московских ТЭС он составлял 0,89; в коммунально-бытовом хозяйстве и промышленности – только лишь 0,70 [4]. Котлы малой паропроизводительности (< 50 МВт), используемые обычно в коммунальном хозяйстве, на сельскохозяйственных и малых промышленных предприятиях, часто не оборудованы пылеулавливающими устройствами.

#### Поведение и эмиссия ртути при сжигании угля

Традиционно считается, что при высоких температурах сжигания ртуть, содержащаяся в углях, практически вся переходит в газообразное состояние и в конечном счете выбрасывается в атмосферу с отходящими газами. В реальности, как свидетельствуют имеющиеся данные, поведение ртути в ходе сжигания топлива более сложное.

В общем случае принято различать горючую часть топлива (углей), в состав которой входят органическое вещество и, иногда, пиритная сера, а также негорючую (минеральная составляющая, или балласт) [8]. Основная часть минеральной составляющей углей переходит в процессе сжигания в летучую золу, уносимую дымовыми газами, запыленность которых для высокосольных углей достигает 60-70 г/м<sup>3</sup>. Другая часть в зависимости от конструкции топки и физических особенностей балласта может превращаться в шлак. Обычно золой считается остаток, получающийся при прокаливании до постоянной массы навески топлива в присутствии кислорода при температуре 800°C. Следует иметь в виду, что при сжигании угля в топках вместе с золой в атмосферу поступает несгоревшее топливо (так называемый недожог). При охлаждении пылегазовых выбросов (уже в газоходах и очистных аппаратах) газообразные соединения ртути могут конденсироваться, например, на поверхности твердых частиц. В частности, хорошо известно, что высокие концентрации ртути характерны для так называемой летучей золы (*coal fly ash*), образующейся при сжигании угля. Очень часто наблюдается вторичное обогащение летучей золы ртутью по сравнению с ее концентрациями в исходном топливе, причем, чем меньше размеры частиц золы, тем интенсивнее обогащение их ртутью. Ртутьсодержащие аэрозоли установлены в продуктах сгорания, например, практически всех стационарных источников энергии США, на которых в качестве топлива используется уголь [25]. Уровни содержания ртути в летучей золе, по литературным данным, варьируются в пределах 0,05-0,55 мг/кг. В летучей золе Воркутинской ТЭЦ-2 концентрации ртути достигали экстремально высоких содержаний – 1,5-3,5 мг/кг [19]. Согласно [23], ртуть, содержащаяся в углях, при их сжигании распределяется следующим образом: 2% переходит в золошлаковые отходы, 98% – в дымовые газы (скрубберы), ртуть в летучей золе на электрофильтрах отсутствовала. Тем не менее, очевидно, что определенная часть летучей золы, содержащей ртуть, все же осаждается в газоходах и на очистных аппаратах (особенно на электрофильтрах). Например, уровни содержания ртути в золе, уловленной электрофильтрами Братской ТЭЦ, в одном случае составляли 0,005 мг/кг, в другом – 0,07 мг/кг [17]. Исследования, в свое время выполненные в Нидерландах, так же указывают на осаждение содержащей ртуть золы на электрофильтрах ТЭС, причем в случае применения дополнительной очистки отходящих газов от оксидов серы способом мокрой десульфуризации улавливалось до 50-70% ртути, поступающей в топку ТЭС с углем [24].

Учитывая сказанное, а также технологические особенности российских объектов теплоэнергетики, можно следующим образом оценить относительный выброс ртути (от ее общей массы, поступившей с углем на сжигание) в атмосферу:

- использование угля для нужд электроэнергетики – 80%;
- использование угля для коммунально-бытовых нужд – 95%;



- использование угля населением и в агропромышленном комплексе – 99%;
- использование угля остальными потребителями – 90%.

Остальная ртуть связывается с золошлаковыми отходами и с уловленной очистными установками золой (примерно 2 т ртути в год в целом для страны).

В табл. 7 приведена расчетная оценка баланса распределения ртути при использовании (сжигании и высокотемпературной переработке) углей в России в 2001 г.

Таблица 7. Распределение ртути при сжигании и высокотемпературной переработке углей в России в 2001 г., тонны \*

Потребление угля	Поступило с углем	Эмиссия в атмосферу, среднее (пределы)
на нужды электроэнергетики населением	8 (7-9)	6,4 (5,6-7,2)
на коммунально-бытовые нужды	0,61 (0,53-0,68)	0,6 (0,52-0,76)
аграрно-промышленным комплексом	1,41 (1,23-1,58)	1,34 (1,17-1,50)
остальными потребителями	0,07 (0,06-0,08)	0,07 (0,06-0,08)
Итого	3,38 (2,95-3,80)	3,04 (2,66-3,42)
	13,47 (11,77-15,14)	11,45 (10,01-12,96)

\* Среднее содержание ртути в углях – 0,08 мг/кг (интервальные содержания – 0,07-0,09 мг/кг).

Таким образом, эмиссии ртути в атмосферу при сжигании каменного угля в России в настоящее время составляет около 11,5 т/год, а с учетом выбросов при добыче, обогащении и коксовании углей – около 13,8 т/год.

#### Литература

1. Алистратов С.В. Загрязнение почв ртутью в Подмосковном угольном бассейне // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях: Тез. докл. к IV Всес. сов. (Ужгород, 10-12 октября, 1988). – М.: ИМГРЭ, 1988, с. 10.
2. Безруков П.П. Зачем России возобновляемые источники энергии // Энергия: экономика, техника, экология, 2002, № 11, с. 2-8.
3. Богомазов В.М., Власов В.М., Тараканов А.С., Данилов В.П. Ресурсы твердых горючих ископаемых России // Разведка и охрана недр, 1993, № 11, с. 2-4.
4. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу. Опыт оценки удельных показателей. – Минск: ИПИПриЭ НАН Беларуси, 1998. – 156 с.
5. Гребенщиков В.П., Гусев С.М. Современное состояние мировой угольной промышленности // Уголь, 2002, № 1, с. 63-67.
6. Добрянский Л.А., Артеменко В.М., Морозов В.И. Ртуть в окружающей среде некоторых городов Украины. – Киев: ИГН АН Украины, 1992. – 44 с.
7. Дюпин А.Ю. Угольная промышленность Кузбасса – проблемы и перспективы // Уголь, 2002, № 6, с. 14-17.
8. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
9. Зыков В.М. Новые тенденции в стратегии угольной отрасли Китая в сопоставлении с Россией // Уголь, 2002, № 3, с. 66-70.
10. Итоги работы угольной промышленности России за 2001 г. // Уголь, 2002, № 3, с. 54-62.
11. Клер В.Р., Ненахова В.Ф., Сапрыкин Ф.Я. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
12. Ковальчук А.Б., Пономарев В.П., Романов С.М. Состояние рынка угля в России, ближние и дальние перспективы // Уголь, 2002, № 1, с. 49-51.

13. Косинский В.А., Корнилов Ю.Н., Поляковская Е.И., Черников А.Б. Минеральное сырье. Уголь: Справочник. – М.: Геоинформмарк, 1997. – 63 с.
14. Обзор технико-экономических показателей тепловых электростанций бывшего Минэнерго СССР и Минтопэнерго Российской Федерации за 1991 год. – М., 1992. – 151 с.
15. Реутов Б.Ф., Именов В.Г., Наумов А.В. и др. Теплоснабжение страны на грани... // Энергия: экономика, техника, экология, 2002, № 1, с. 3-8.
16. Российский статистический ежегодник. 2002: Статистический сборник. – М.: Госкомстат России, 2002. – 690 с.
17. Танделов Ю.П. Фтор в системе почва-растение. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 78 с.
18. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник (Российская государственная компания «Росуголь»; Российский комитет по геологии и использованию недр). – М.: Недра, 1996. – 238 с.
19. Юдович Я.Э., Золотова В.В. Элементы-примеси в углях Печорского бассейна // Народное хозяйство Республики Коми, 1994, 3, № 1, с. 16-25.
20. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. – Л.: Наука, 1985. – 239 с.
21. Янин Е.П. Эмиссия ртути в окружающую среду при производстве кокса в России. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 15 с.
22. Янин Е.П. Оценка эмиссии ртути в окружающую среду при производстве кокса в России // Экологическая экспертиза, 2005, № 1, с. 2-9.
23. Boron D.J., Wan E.J. Controlling toxic emissions // Coal, 1990, 96 (1), № 6, p. 121-123, 125, 127-129.
24. Meij R. The fate of mercury in coal-fired power plants and the influence of wet flue-gas desulfurization // Water, Air, and Soil Pollut., 1991, 56, Special volume, p. 21-33.
25. Shendrikar A.D., Ensor D.S. Critical review: measurement of mercury combustion aerosols in emissions from stationary sources // Waste Manag. and Res., 1986, 4, № 1, p. 75-93.