

Янин Е.П. Оценка эмиссии ртути в атмосферу российскими предприятиями черной металлургии // Экологическая экспертиза, 2004, № 5, с. 101–108.

На предприятиях черной металлургии в пирометаллургическую переработку вовлекаются значительные объемы различного сырья. Даже при относительно невысоких уровнях содержания в сырье ртути производство различной продукции, особенно чугуна, сопровождается поступлением в окружающую среду ртути. Количественные оценки эмиссии ртути в атмосферу российскими предприятиями черной металлургии практически отсутствуют. В предлагаемой работе предпринята попытка восполнить, хотя бы отчасти, этот пробел.

Производство основных видов продукции черной металлургии

В табл. 1 приведены сведения, характеризующие объемы производства основных видов продукции черной металлургии в России в 1999-2002 гг. В табл. 2 дается производство доменного чугуна, стали и проката в 2001 г. отечественными предприятиями, которые обычно суммарно производят более 95% всего российского чугуна.

Таблица 1. Производство основных видов продукции черной металлургии в России в 1999-2002 гг., млн. т [1, 7, 8]

Год	Товарная железная руда	Кокс (6% влажности)	Чугун	Сталь	Прокат готовый	Трубы стальные
1999	82,2	28,1	40,9	52,5	40,9	3,3
2000	87,1	30,0	44,8	59,1	46,7	4,8
2001	82,8	29,9	47,1	59,0	47,1	5,4
2002	84,2	30,9	46,3	59,8	48,7	5,1

Таблица 2. Производство доменного чугуна и стали металлургическими предприятиями России, 2001 г., тыс. т [1, 4, 5, 7, 11, 14, 16, 21]

Предприятие	Местоположение	Чугун	Сталь
ОАО «Магнитогорский МК»	г. Магнитогорск, Челябинская обл.	8662	10343
ОАО «Новолипецкий МК»	г. Липецк	7464	7912,1
ОАО «Северосталь» (Череповецкий МК)	г. Череповец, Вологодская обл.	7447,9	9302,2
ОАО «Нижнетагильский МК»	г. Нижний Тагил, Свердловская обл.	4628,7	5224,9
ОАО «Западно-Сибирский МК»	г. Новокузнецк, Кемеровская обл.	4546	5578,5
ОАО «Мечел» (Челябинский МК)	г. Челябинск	2905,8	3796,4
ОАО «Кузнецкий МК»	г. Новокузнецк, Кемеровская обл.	2750,7	3596
ОАО «Тулачермет»	г. Тула	2200	-
ОАО «Носта» (Орско-Халиловский МК)	г. Новотроицк, Оренбургская обл.	1786	2591,1
ОАО «Чусовской металлургический завод»	г. Чусовой, Пермская обл.	678,7	485
ОАО «Свободный сокол»	г. Липецк	580	-
ОАО «Косогорский металлургический завод»	г. Тула	403	-
ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова»	г. Серов, Свердловская обл.	341,7	520,9
ОАО «Саткинский чугуноплавильный завод»	г. Сатка, Челябинская обл.	180,8	-
Верхне-Синячихинский металлургический завод	Свердловская обл.	112,5	-
Белорецкий металлургический комбинат	г. Белорецк, Башкортостан	109,2	-
Алапаевская ферросплавная компания	г. Алапаевск, Свердловская обл.	14,9	-
<i>Итого</i>		44811,9	49350,1
Всего в России		47100	59000

Крупнейшие металлургические комбинаты, функционирующие в России, представляют собой промышленные комплексы, как правило, с полным технологическим циклом, включающим в себя горнорудные предприятия, коксохимическое и огнеупорное производства, доменный (от 2 до 7 дозн), сталеплавильный и прокатный переделы, а также строительные, ремонтные, энергетические, транспортные и другие подразделения; численность рабочих на крупных металлургических предприятиях страны достигает 20-40 тыс. человек.

В табл. 3 приведены поставщики железорудного сырья на основные металлургические предприятия России. Сырьевой базой небольших заводов, расположенных на Северном и Среднем Урале, в основном являются Качканарская группа месторождений и месторождения Тагило-Кувшинского, Серовско-Ивдельского и Богословского районов; аналогичные предприятия Южного Урала получают железные руды главным образом с месторождений горы Магнитной и Халиловской группы.

Таблица 3. Поставщики железорудного сырья на основные металлургические заводы России [1, 2, 9, 10, 17]

Предприятие	Основные поставщики железорудного сырья
ОАО «Магнитогорский МК»	На 50-70% – поставки из Центрально-Черноземного и Северного районов России: ОАО «Михайловский ГОК» (Михайловское месторождение КМА), ОАО «Стойленский ГОК» (Стойленское месторождение КМА); остальная часть с местных железорудных предприятий (месторождения Магнитогорское и Малый Куйбас) либо импортируется (Соколовско-Сарбайское железорудное месторождение, Казахстан)
ОАО «Новолипецкий МК»	ОАО «Лебединский ГОК» (Лебединское и Стойло-Лебединское месторождения КМА), ОАО «Стойленский ГОК» (Стойленское месторождение КМА), ОАО «Михайловский ГОК» (Михайловское месторождение КМА)
ОАО «Северосталь» (Череповецкий МК)	ОАО «Оленегорский ГОК» (месторождения Оленегорское, Кировогорское, им. проф. Баумана, XV лет Октября, Комсомольское), ОАО «Ковдорский ГОК» (Ковдорское месторождение), ОАО «Карельский окатыш» (Костомукшское месторождение); ОАО «Лебединский ГОК» (Лебединское и Стойло-Лебединское месторождения КМА); ОАО «Стойленский ГОК» (Стойленское месторождение КМА)
ОАО «Нижнетагильский МК»	На 50-70% - поставки из Центрально-Черноземного и Северного районов России; остальная часть с местных месторождений (Качканарское и Тагило-Кувшинские) и предприятий (ОАО «Качканарский ГОК») либо импортируется
ОАО «Западно-Сибирский МК»	ОАО «Коршуновский ГОК» (Коршуновское месторождение), ОАО «Сибруда», «Лебединский ГОК», местные месторождения (Ташгальское, Шерегешское, Казское, Сухаринское), Качканарский ГОК (месторождение Гусевогорское), а также привозное сырье
ОАО «Мечел» (Челябинский МК)	Бакальское месторождение (частично), сырье из центрального и северного районов России (на 50-70%); местные предприятия («Качканарский ГОК»), незначительный импорт
ОАО «Кузнецкий МК»	ОАО «Коршуновский ГОК» (Коршуновское месторождение), местные месторождения (Ташгальское, Шерегешское, Казское), привозное сырье
ОАО «Тулачермет»	Месторождения КМА
ОАО «Носта» (Орско-Халиловский МК)	Бакальское месторождение (частично), сырье из центрального и северного районов России (на 50-70%), частично – импорт

Особенности доменного производства

Процесс выплавки чугуна в доменной печи осуществляется непрерывно. В качестве сырьевых материалов используются агломерат, флюсы, кокс, окатыши, дутье, природный газ. Доменная печь работает по схеме противоточного процесса. Агломерат, флюсы, окатыши и кокс периодически загружаются в домну сверху. Подогретый до 1050-1300°C воздух подается в домну снизу и проходит через опускающуюся шихту, которая нагревается, восстанавливается и плавится.

Чугун – основной продукт доменного производства – представляет собой сплав железа с углеродом, содержащий определенные количества кремния, марганца, фосфора, серы. По своему назначению чугун подразделяют на три группы: 1) передельный, предназначенный для последующего передела в сталь; 2) литейный, используемый для отливок (в чугунолитейном производстве); 3) специальный (доменные ферросплавы, употребляемые в качестве раскислителей при производстве стали) [13].

Отработанный доменный газ является горючим, поэтому он выводится из домны и после предварительной очистки направляется в кауперы (доменные воздухонагреватели), где сжигается совместно с природным или коксовым газом, подогревая дутьевой воздух для домны. На выходе из печи температура доменного газа составляет 300-500°C; количество его – от 2000-2500 до 3800-4000 м³ на тонну чугуна (в зависимости от вида давления и дутья); запыленность доменного газа при работе печи с нормальным давлением на колошнике (верхней части доменной печи) – 50-60 г/м³ (иногда до 100 г/м³); при работе с повышенным давлением – 35-40 г/м³ [15].

Как правило, для улавливания пыли применяют многоступенчатую очистку. В качестве пылегазоочистного оборудования на 1-й степени используют сухие системы (циклоны с поворотом потока газа на 180°), затем – мокрые (форсуночный скруббер, труба Вентури с каплеуловителем и дроссельная группа или мок-

рые трубчатые электрофилтры). Обычно эффективность грубой очистки составляет не более 65-70%. На некоторых заводах дроссельные группы очистного оборудования в последние годы были заменены газовыми утилизационными бескомпрессорными турбинами. В среднем эффективность пылегазоочистных устройств на предприятиях СНГ во второй половине 1990-х гг. оценивалась в 98% [3]. Этот показатель, очевидно, адекватно отражает современную ситуацию в отечественной черной металлургии.

Эмиссия ртути при доменном производстве чугуна

В доступной литературе сведений о распределении ртути в железорудном сырье известно не очень много. Так, содержания ртути в концентратах месторождений Курской магнитной аномалии (КМА), являющихся основным источником сырья для многих российских заводов, находятся в пределах 0,01-0,1 мг/кг (месторождения Стойленское, Коробовское), в концентрате Коршуновского месторождения (Сибирь) – 0,02-0,085 мг/кг [12].

С определенной долей условности будем считать, что среднее содержание ртути в железной доменной руде и окатышах составляет 0,06 мг/кг, в агломерате, металлодобавках и коксе – 0,0004 мг/кг; в природном газе – 0,1 мкг/м³, в известняках – 0,05 мг/кг, в марганцевой руде – 0,06 мг/кг. Сведения, приведенные в табл. 4, позволяют рассчитать удельное количество ртути (на 1 т произведенного чугуна), поступающей в доменный процесс). Простые расчеты показывают, что оно составляет 39,86 мг ртути на тонну полученного чугуна (0,03986 г/т чугуна). Допустим, что 99% ртути, поступающей в доменное производство, возгоняется и в конечном счете эмитируется в атмосферу.

Таблица 4. Удельный расход основных материалов (в кг) на производство 1 т чугуна и масса связанной с ними ртути

Материалы	2000 г.	2001 г.	Средняя концентрация ртути, мг/кг *	Масса ртути, поступающей в производство, мг
	[7]			
Железорудная часть шихты в том числе:	1674	1660		
железная доменная руда	17	16	0,06	0,96
агломерат	1137	1141	0,0004	0,456
окатыши	520	502	0,06	30,12
металлодобавки	15	20	0,0004	0,008
Скиповый кокс	468	457	0,0004	0,183
Природный газ, м ³	92	92	0,1 мкг/м ³	0,009
Кислород, м ³	85	81	-	
Известняк	161	158	0,05	8,05
Марганцевая руда	1,3	1,3	0,06	0,078
Итого				39,864

* Для 2001 г; используются минимальные концентрации ртути; в реальности на отдельных предприятиях применяются, например, известняки и железные руды, в которых ртуть присутствует в более высоких концентрациях.

Таким образом, удельная эмиссия ртути составляет 0,0395 г/т чугуна. Этот показатель практически равен известному эмиссионному фактору ртути (0,039 г Hg/т чугуна), который рассчитан J. Расуна, E. Расуна (2000). Есть все основания полагать, что полученный эмиссионный фактор вполне может использоваться для ориентировочной оценки эмиссии ртути в атмосферу при производстве чугуна в России, которая в 2001 г. в целом для всей страны составила 1860 кг (табл. 5).

Эмиссия ртути в чугунолитейном производстве

В России существует несколько сотен чугунолитейных (получение отливок) производств (особенно на машиностроительных предприятиях). Ведущее место среди плавильных печей литейного производства занимают вагранки (до 90% общего объема выплавки), около 10% отливок получают в дуговых печах; на некоторых заводах применяются индукционные печи. Вагранка представляет собой печь шахтного типа для плавки чугуна в литейных цехах. Шихтовые материалы загружаются в шахту с колошниковой площадки послойно (колошами): чушковый доменный чугун, металлолом, флюсы, кокс. Расплавленный чугун собирается в горне и перетекает в копильник. Производительность таких печей – от 1 до 60 т в час. Иногда вагранки для подогрева воздуха оборудуются рекуператорами. В настоящее время вагранки заменяются индукционными печами.

Таблица 5. Эмиссия ртути при производстве доменного чугуна в России, 2001 г.

Предприятие	Местоположение	Чугун, тыс. т/год	Эмиссия Hg, т/год
ОАО «Магнитогорский МК»	г. Магнитогорск, Челябинская обл.	8662	0,342
ОАО «Новолипецкий МК»	г. Липецк	7464	0,295
ОАО «Северосталь» (Череповецкий МК)	г. Череповец, Вологодская обл.	7447,9	0,294
ОАО «Нижнетагильский МК»	г. Нижний Тагил, Свердловская обл.	4628,7	0,183
ОАО «Западно-Сибирский МК»	г. Новокузнецк, Кемеровская обл.	4546	0,180
ОАО «Мечел» (Челябинский МК)	г. Челябинск	2905,79	0,115
ОАО «Кузнецкий МК»	г. Новокузнецк, Кемеровская обл.	2750,7	0,109
ОАО «Тулачермет»	г. Тула	2200	0,087
ОАО «Носта» (Орско-Халиловский МК)	г. Новотроицк, Оренбургская обл.	1786	0,071
ОАО «Чусовской металлургический завод»	г. Чусовой, Пермская обл.	678,7	0,027
ОАО «Свободный сокол»	г. Липецк	580	0,023
ОАО «Косогорский металлургический завод»	г. Тула	403	0,016
ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова»	г. Серов, Свердловская обл.	341,7	0,014
ОАО «Саткинский чугуноплавильный завод»	г. Сатка, Челябинская обл.	180,8	0,007
Верхне-Синячихинский металлургический завод	Свердловская обл.	112,5	0,004
Белорецкий металлургический комбинат	г. Белорецк, Башкортостан	109,2	0,004
Алапаевская ферросплавная компания	г. Алапаевск, Свердловская обл.	14,9	0,001
<i>Итого</i>		44811,9	1,772
Всего по России		47100	1,860

В литейных цехах пылегазовые выбросы выделяются при выплавке металла, заливке его в формы при формовке, выбивке и очистке литья, при производстве стержней, приготовлении формовочной смеси, погрузочно-разгрузочных операциях на шихтовом дворе. Основным источником пылегазовых выбросов являются плавильные отделения, на долю которых приходится до 50-80% всех выбросов твердых частиц. При выплавке 1 т жидкого металла из вагранки выбрасывается 1000 м³ газа; концентрация пыли составляет 1-10 г/м³. Средняя эффективность очистки выбросов при плавке чугуна в открытых вагранках для предприятий СНГ оценивается в 90% [3].

Удельный выброс ртути в чугунолитейном производстве (вагранки открытого типа) белорусскими исследователями оценивается в 0,001 г металла на тонну литья [3]. Авторы цитируемой работы явно исходят из того, что подавляющая часть ртути выбрасывается в атмосферу в парогазовой форме. Исследования распределения ртути в технологической пыли (единичные пробы) одного из литейных заводов показали [20], что уровни металла в ней достигают в среднем 0,03 г/т. Показательно, что в так называемой вентиляционной пыли и в пыли, отобранной в производственных помещениях указанного предприятия, уровни ртути составили 0,3 и 0,25 г/т соответственно (не исключено, что более высокие уровни металла в данном случае обусловлены его поступлением из случайных источников, а не из основного сырья). Ежегодно в чугунолитейных цехах российских предприятий производится 9-10 млн. т литья. Таким образом, при использовании эмиссионного фактора ртути в 0,001 г/т литья общая для всей страны эмиссия ртути чугунолитейными предприятиями составит не менее 9-10 кг/год. С учетом поступления ртути в составе промышленной пыли объемы эмиссии могут быть увеличены примерно в 2 раза, т. е. до 18-20 кг (среднее – 19 кг) в год.

Эмиссия ртути при производстве стали

Производство стали в России осуществляется кислородно-конвертерным процессом (около 63% общего объема производства), электродуговой плавкой (около 14%) и мартеновским процессом (около 24%) [19]. Таким образом, можно считать, что в 2001 г. в России примерно 8 млн. т стали произведено электродуговой плавкой, 37 млн. т – кислородно-конвертерным процессом, 14 млн. т – мартеновским процессом.

Данные об удельных выбросах ртути при производстве стали на отечественных предприятиях отсутствуют. Белорусские исследователи на основе экспериментальных работ, проведенных на Белорусском металлургическом комбинате, установили, что в пыли электросталеплавильных печей концентрации ртути (из рукавного фильтра) варьировались в пределах 2,241-15,333 мг/кг (среднее – 8,446 мг/кг) [3]. Удельная эмиссия ртути с учетом неорганизованных выбросов при производстве стали в электродуговых печах в странах СНГ оценивается авторами цитируемой работы в 0,012 г Hg/т стали, без учета неорганизованных выбросов – 0,007 г Hg/т стали. Если использовать указанные эмиссионные факторы, то общая эмиссия ртути в ходе

рассматриваемого производства стали может быть оценена в целом для всей России (в 2001 г.) примерно в 98 кг ртути.

Относительно высокие концентрации ртути в пыли и повышенная эмиссия ее объясняются широким использованием в качестве исходного сырья для электросталеплавильного производства металлического лома, в составе которого присутствуют материалы, содержащие ртуть. Кроме того, для повышения содержания углерода в шихте применяют чугун, кокс и электродный бой. Легирование стали и раскисление осуществляются с помощью стандартных ферросплавов и легирующих добавок.

По данным [3], в мартеновской пыли (завод «Запорожсталь», Украина) содержание ртути составляло 0,098 мг/кг, что практически на два порядка меньше, нежели в пыли электросталеплавильных печей. С определенной долей условности можно предположить, что удельные выбросы ртути при производстве стали мартеновским и кислородно-конвертерным способами не превышают аналогичный показатель для чугунолитейного производства, т. е. составляют порядка 0,001 г Hg/т стали. Отсюда следует, что эмиссия ртути при производстве стали указанными процессами в целом для всей России в 2001 г. составила примерно 51 кг.

Таким образом, общая эмиссия ртути в атмосферу предприятиями черной металлургии в России в 2001 г. может быть оценена примерно в 2 т/год (табл. 6).

Таблица 6. Эмиссия ртути в атмосферу черной металлургией России в 2001 г.

Производство	Эмиссия ртути, кг	Доля, %
Производство доменного чугуна	1860	91,8
Чугунолитейное производство	19	0,9
Производство стали электродуговой плавкой	98	4,8
Производство стали кислородно-конвертерным и мартеновским способами	51	2,5
Итого	2028	100

подавляющая часть ртути (до 92%) поступает в атмосферу при производстве доменного чугуна. Очевидно, что все приводимые выше оценки эмиссии ртути являются минимальными, но, судя по всему, достаточно адекватно отражают порядок поставки этого токсичного металла в атмосферу отечественными предприятиями черной металлургии в 1999-2003 гг.

Литература

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.
- 9.
- 10.
- 11.
- 12.
- 13.
- 14.
- 15.
- 16.
- 17.
- 18.
- 19.
20. Янин Е.П. Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМГРЭ, 2003. – 82 с.
- 21.