



**Е.П. ЯНИН**

**РТУТЬ**  
**В ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСАХ**  
**ПРОМЫШЛЕННЫХ**  
**ПРЕДПРИЯТИЙ**

**МОСКВА - 2004**

**Е.П. ЯНИН**

**РТУТЬ**

**В ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСАХ**

**ПРОМЫШЛЕННЫХ**

**ПРЕДПРИЯТИЙ**

**МОСКВА - 2004**

УДК 504.3.064:546.49

Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 24 с.

Рассматриваются особенности распределения ртути в промышленной пыли, образующейся в ходе технологических процессов на различных по своей специфике предприятиях и производствах. Дается общая оценка воздействия на среду обитания пылевых выбросов, содержащих ртуть. Оценивается роль промышленной пыли в формировании зон ртутного загрязнения в городах.

Табл. – 12; список лит. – 52 назв.

С замечаниями и уточнениями обращаться по адресу:



Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН ([www.geokhi.ru](http://www.geokhi.ru)), Лаборатория экологической геохимии, 119991, ГСП-1, г. Москва, В-334, ул. Косыгина, д. 19.

© Янин Е.П., 2004

## **Введение**

Инвентаризация выбросов ртути в атмосферу является важным этапом изучения ее распространения в среде обитания, а получаемая при этом информация необходима для проведения оценок техногенного воздействия, обоснования предельно допустимых выбросов (ПДВ) ртути, расчета ее рассеяния в атмосфере и переноса на дальние расстояния, для моделирования процессов перераспределения и трансформации соединений ртути в условиях окружающей среды, прогноза формирования зон ртутного загрязнения и организации систем экологического мониторинга. В условиях промышленно-урбанизированных территорий это предполагает учет максимально возможного количества техногенных источников эмиссии ртути, которая поступает в атмосферу в двух основных фазовых состояниях – в парогазовой форме и в составе пылевых выбросов промышленных предприятий.

Ежегодно предприятия отчитываются за выбросы вредных веществ, эмиссия которых определяется томами ПДВ или паспортами технологического оборудования. При этом, во-первых, отчетность по выбросам ртути в атмосферу является обязательным только для тех производств, где этот металл или его соединения непосредственно применяются в технологических процессах. Во-вторых, в документах статистической отчетности обычно фиксируется поставка в атмосферу только паров металлической ртути; ртуть, присутствующая в составе пылевых выбросов (промышленной пыли), практически не учитывается. В-третьих, традиционно отсутствует контроль выбросов ртути на тех предприятиях, где она или ее соединения не используются в технологических процессах.

В то же время ртуть входит (например, в виде случайных примесей) в состав топлива и различного сырья, присутствует в приборах и изделиях, используемых на предприятиях, что не исключает вероятность поступления ее в пылегазовыбросы и другие отходы. Образование пыли, в конечном счете поступающей в среду обитания, типично для многих технологических процессов, однако данные о распределении в ней ртути до сих пор в должной мере не систематизированы. В предлагаемой работе предпринята попытка восполнить этот пробел.

## **Добыча и производство ртути**

Есть сведения, что при получении металлической ртути потери ее с пылевыми выбросами составляют 5-7% от общего количества металла, выносимого в атмосферу с отходящими газами металлургического про-

изводства, т. е. подавляющая часть его поступает в окружающую среду в парогазовой форме [16]. В то же время известно, что технологические процессы, типичные для добычи и производства ртути, сопровождаются образованием значительных количеств организованных и неорганизованных пылевых выбросов. Например, в отходящих технологических газах Хайдарканского ГМК содержания пыли достигали 90-95 мг/м<sup>3</sup>. На Никитовском ртутном комбинате при сухом бурении запыленность воздуха составляла 82-471 мг/м<sup>3</sup>; после внедрения в эксплуатацию оросительных систем она снизилась, но, тем не менее, была достаточно высокой (в среднем до 14 мг/м<sup>3</sup>). В процессе дезинтеграции ртутной руды после очистки выбросов на циклонах и скрубберах в атмосферный воздух поступала пыль в количестве 500-2600 мг/м<sup>3</sup>, при подготовке руды в сушильном и флотационном отделениях – 1450-24200 мг/м<sup>3</sup>. Запыленность воздуха в дробильных отделениях комбината составляла 10,4-16,0 мг/м<sup>3</sup> [4]. Все разновидности пыли характеризовались высокими концентрациями ртути.

В общем случае суммарные потери ртути с промышленной пылью зависят от количества (выхода) последней и абсолютной концентрации в ней поллютанта. В свою очередь, количество образующейся пыли определяется типом обжигового агрегата и в существенной мере зависит от оснащённости плавильных печей очистными установками. Распределение ртути в различных видах отходов металлургического передела ртутных руд сильно варьируется, но, как правило, именно в пылевидных продуктах происходит наиболее интенсивное ее накопление, что, в частности, подтверждается данными по Никитовскому ртутному комбинату (табл. 1).

Таблица 1. Ртуть в рудах, огарках и пыли, мг/кг [3]

Компонент	Печь кипящего слоя	Муфельная печь
Дробленая руда	1100	3400
Огарок	10	-
Пыль одиночного циклона	900	-
Пыль группового циклона	1300	-
Пыль электрофильтра	1400	-
Огарок от руды	-	10
Огарок от кека ступпы	-	100
Пыль циклона от руды	-	4000
Пыль циклона от ступпы	-	4100
Типичное фоновое содержание в почвах	0,06	
ПДК в почвах	2,1	

Фазовый анализ показал, что если в огарках ртуть была представлена преимущественно сульфидной («первичной») формой, то в про-

мышленной пыли на долю сульфидов приходилось не более трети общего содержания этого металла, заметно преобладала элементарная ртуть и незначительное количество ее было связано с окисленными соединениями (табл. 2). В так называемом «остатке» ртуть, судя по всему, представлена главным образом изоморфной формой и, возможно, каломелью. В пыли муфельной печи ртуть присутствовала в основном в элементарной форме. Интенсивное концентрирование ртути преимущественно в элементарной (металлической) форме, а также наличие ее окисленных соединений свидетельствует о вторичном обогащении промышленной пыли этим металлом, который в ходе производственных процессов активно сорбируется тонкими частицами твердого материала. При дезинтеграции и обжиге ртутных руд происходит также трансформация исходных (первичных) форм нахождения ртути.

Таблица 2. Формы нахождения ртути в огарках и в пыли, мг/кг [3]

Продукт	Окисленная	Металлическая	Сульфидная	Остаток	Сумма
Огарок от рядовой руды	-	-	20	-	20
Огарок от штучной руды	-	-	10	-	10
Огарок от кека	-	400	300	200	900
Пыль одиночного циклона	100	500	300	100	1000
Пыль группового циклона	100	700	400	100	1300
Пыль электрофильтра	Следы	800	1300	200	2300
Пыль от руды	800	2200	400	600	4000
Пыль от ступпы	1000	2500	500	600	4600

На металлургическом заводе бывшего ТОО «Краснодарский рудник» (Краснодарский край), который сейчас принадлежит ЗАО «НПП «Кубаньцветмет», ртутные (киноварные) руды (Сахалинского ртутного месторождения) подвергались окислительному обжигу в трубчатой вращающейся печи. Исследования химического состава ртутных руд и различных продуктов их обжига установили, что ртуть интенсивно концентрировалась в песках пылевой камеры, пыли циклонов и особенно в пыли газохода (табл. 3). Во всех продуктах ртуть находилась преимущественно (более 80% от общего содержания) в сульфидной форме. Изучение распределения ртути в гранулометрических фракциях продуктов обжига показало, что в пыли циклонов и песках пылевой камеры концентрации ее в грубых фракциях составляли 10-30 мг/кг, в более тонких – 500-900 мг/кг, а в так называемой отвальной пыли – 30 мг/кг (среднее по многолетним данным).

Таблица 3. Ртуть в ртутных рудах и продуктах их обжига, мг/кг [3]

Продукт	Технологические пробы, 1976 г.	Технологические пробы, 1979 г.
Руда	1800	1200
Огарок	60	50
Пыль циклона	610	530
Пески пылевой камеры	580	620
Пыль газохода	61300	57500

Таким образом, добыча и переработка ртутных руд сопровождается образованием значительных количеств пыли, отличающейся высокими концентрациями ртути. При использовании муфельных печей и печей кипящего слоя происходит обогащение пыли главным образом за счет вторичных форм ртути (элементарная ртуть и ее окисленные соединения). С эколого-геохимической точки зрения важным является тот факт, что уровни содержания ртути практически во всех разновидностях пыли в десятки-сотни-тысячи раз превышают фоновую концентрацию металла в почвах и в десятки-сотни – ПДК в почвах. Районы добычи и производства ртути характеризуются высоким уровнем загрязнения среды обитания этим токсичным металлом [36]. Безусловно, в формировании его техногенных геохимических аномалий, особенно в почвах, существенная роль принадлежит осаждающейся промышленной пыли.

### **Золотодобывающая промышленность**

Предприятия золотодобывающей промышленности характеризуются образованием значительных количеств пылевых выбросов (в том числе, неорганизованных). В большинстве случаев перерабатываемые руды отличаются повышенными концентрациями ртути, что определяет вероятность ее накопления в пыли. Например, ртуть в значимых количествах содержится в окисленных рудах медно-колчеданных месторождений Южного Урала, из которых в течение 50 лет на Семеновской золотоизвлекательной фабрики получали цианированием золото и серебро [18]. По данным авторов цитируемой работы, концентрации ртути в материале хвостохранилищ фабрики изменяется в пределах 8,8-67,8 мг/кг, а общая масса ее, аккумулированная в твердых отходах производства, составляет около 60 т. Последние годы Семеновская фабрика работает на руде Гайского месторождения, с которой на переработку ежегодно поступает порядка 0,4-0,5 т ртути. Уровни содержания ее в рудной пыли дробильного отделения фабрики достигают 90 мг/кг, что многократно выше фоновой концентрации данного металла в почвах.

Значительные объемы образующейся пыли, особенно при дроблении руд, и высокие концентрации в ней ртути в существенной мере определяют высокий уровень техногенного воздействия на среду обитания. Исследования показали, что не только промзона золотоизвлекательной фабрики, но и территория расположенного рядом с ней пос. Семеновского интенсивно загрязнены ртутью, содержания которой в различных компонентах окружающей среды и биосубстратах людей многократно превышали фоновые и нормативные показатели [11].

## Металлургическая промышленность

Длительное время считалось, что ртуть в выбросах предприятий черной металлургии присутствует главным образом в парогазовой форме (см., например, [19]). В последние годы было установлено, что ртуть находится также и в пылевых выбросах заводов по производству чугуна и стали. Например, исследования, выполненные на металлургических заводах Белоруссии и Украины, показали, что ртуть в значимых количествах концентрировалась в пыли, образующейся в ходе технологических процессов [9]. Максимальными содержаниями ее отличалась пыль

Таблица 4. Среднее содержание ртути в пыли металлургических производств [9]

Производство	Ртуть, мг/кг
Электросталеплавильное	8,45 (максимальное значение 15,33)
Мартеновское	0,09
Чугунолитейное	0,06

электросталеплавильного производства (табл. 4), что, отчасти, объясняется «загрязнением» ртутью перерабатываемого металлического лома.

Существенно более высокими концентрациями ртути отличается пыль, образующаяся на предприятиях цветной

металлургии. Так, установлено, что в процессе окислительного агломерационного обжига и шахтной плавки свинцовых концентратов большая часть содержащейся в них ртути (> 90%) возгоняется и сорбируется пылью, которая в той или иной мере улавливается электрофильтрами и рукавными фильтрами, а также установками по очистке вентиляционных выбросов [2]. Кроме того, из газовой фазы, в случае получения серной кислоты, в промывных башнях осаждалось около 5,5% ртути (от общей ее массы). Содержания ртути в пыли аглоцеха достигали  $n \times 1000$  г/т, в плавильной пыли –  $n \times 100$  г/т, конверторной и шлаковозгоночной пыли –  $n \times 10$  г/т. Основная масса пыли (60-80%), образующейся при спекании и плавке сырья, является оборотным продуктом, что ведет к увеличению потерь ртути за счет возрастания выхода пыли и непрерывной циркуляции значительного ее количества.



Исследования, в свое время выполненные на Челябинском цинковом электролитном заводе [10], показали, что только 60% ртути из отходящих газов улавливается и выводится с промывными кислотами (16,7%) и шламами (43,3%). Оставшаяся ртуть поступает в сушильно-абсорбционное отделение и попадает в конечную продукцию (техническую серную кислоту); примерно 0,4% металла выбрасывается в атмосферу. Поскольку, согласно данным авторов цитируемой работы, в богатых шламах мокрых электрофильтров содержание ртути достигало 10-40%, то можно предположить, что она поступала в атмосферу и в составе пылевых выбросов.

В медеплавильном производстве при обжиге медных концентратов ртуть возгонялась только на 80-90% [2]. При очистке сернистых газов она частично улавливалась с пылью (в которой ее содержания достигали 15-560 г/т), частично поступала с газами в сернокислотные цеха, где в промывном отделении концентрировалась в селенистых шламах (в основном идущих в отходы). Если перерабатывалась тонкая пыль, образующаяся в ходе газоочистки, то ртуть накапливалась (до 1100 г/т) в свинцовом кеке (который обычно отправляется на переработку на свинцовые заводы), а также в отвальном арсенатном кеке (поступает на захоронение). При переработке больших объемов пиритных концентратов, несмотря на относительно низкие абсолютные концентрации в них ртути, общее ее количество достигает величин, которые соизмеримы с масштабами добычи металла на небольших ртутных предприятиях. В ходе переработки таких концентратов определенное количество ртути, безусловно, поступает в атмосферу с пылью.

Таким образом, промышленная пыль, образующаяся на предприятиях цветной металлургии, отличается высокими концентрациями ртути, что вкпе с относительно значимыми объемами пылевых выбросов определяет высокий уровень загрязнения среды обитания этим металлом в районе таких заводов. Пылевые выбросы предприятий черной металлургии, за исключением электросталеплавильного производства, перерабатывающего вторсырье, характеризуются невысокими (в пределах фоновых уровней в почвах) содержаниями ртути. Однако для таких заводов характерны очень большие объемы выбрасываемой в атмосферу пыли, что определяет повышенную ртутную нагрузку на окружающую среду.

## **Химическая промышленность**

Химическая промышленность (производство хлора и каустика, хлорвинила, ацетальдегида и др.) являлась и остается основной сферой потребления ртути в России и в некоторых других странах. Как прави-

ло, основные потери металла (до 80%), например, на отечественных хлорно-щелочных заводах обусловлены утечками металлической ртути, неполнотой ее сбора при эксплуатации электролизеров и проведении ремонтных работ, а также при авариях [33, 51]. Обычно такие предприятия отчитываются за выброс в атмосферу только паров металлической ртути, количество которых определяется расчетным методом.

В то же время многие химические заводы характеризуются наличием производственных процессов, генерируемых определенными количествами пыли. Например, заводы по производству ацетальдегида включают производство карбида кальция, которое сопровождается образованием пыли (переработка значительных объемов доломита, известняка, кокса и т. д.). Естественно, что при наличии мощного источника паров металлической ртути происходит вторичное обогащение пыли этим поллютантом. Например, очень высокие концентрации ртути (до 3000-10000 мг/кг) были установлены в пыли цеха по производству ацетальдегида, отобранной из труб вентиляционных систем, а также в пыли (до 3000 мг/кг) других производственных помещений данного завода [27]. Пылевывбросы в существенной мере определяли формирование техногенных ртутных аномалий в почвогрунтах завода (концентрации ртути достигали 600 мг/кг) и в пыли, осаждаемой со снегом.

## Сжигание каменного угля, нефти и торфа

Среднее содержание ртути в золе ископаемых углей составляет примерно 1-3 мг/кг [26]. До недавних пор в литературе преобладало мнение, что при сжигании каменного угля в топках теплоэлектростанций (ТЭС) практически вся содержащаяся в нем ртуть улетучивается, а небольшое ее количество концентрируется в так называемой спекшейся золе и в золе на фильтрах очистки (табл. 5). В данном случае ТЭС, мощностью 660 МВт, оснащена очистным оборудованием и работает на угле с содержанием ртути порядка 0,3 мг/кг. Как видим, преобладает выброс в атмосферу газообразной ртути. Одновременно значимые ее количества были связаны с золой, уловленной на фильтрах.

Таблица 5. Ртуть в выбросах и отходах теплоэлектростанции [40]

Компонент	Среднее количество вещества, т/сут	Средняя концентрация ртути, мг/кг	Среднее количество ртути, г/сут
Уголь	7750	0,3	2580
Спекшаяся зола	330	0,2	66
Зола на фильтрах	1300	0,2	260
Летучая зола	2	0,2	< 1
Отходящие газы	81000 м <sup>3</sup> /сут	0,033 мг/м <sup>3</sup>	2500

По данным [41], ртуть, содержащаяся в каменном угле, при его сжигании распределяется следующим образом: 2% переходит в золошлаковые отходы, 98% – в дымовые газы, в летучей золе, уловленной электрофильтрами, ртуть не обнаруживалась. Тем не менее переход всей содержащейся в углях ртути в газообразное состояние возможен только при полном сгорании ископаемого топлива. В большей части стационарных устройств, используемых для сжигания топлива, динамические характеристики процесса смешения его с воздухом таковы, что сгорание не является полным. Кроме того, при охлаждении пылегазовых выбросов многие газообразные соединения способны либо конденсироваться на поверхности твердых частиц, либо образовывать самостоятельные твердые фазы. Особую роль может играть коагуляция микроскопических частиц и их аккумуляция на поверхности других твердых частиц. Данное явление особенно существенно для химических элементов, отличающихся очень малыми концентрациями в углях, в силу чего они не могут формировать собственные фазы. Именно поэтому тонкие аэрозоли, обладающие максимальной удельной поверхностью, часто интенсивнее обогащаются ртутью. Не исключено, что при высоких температурах ртуть сорбируется на поверхности мелких частиц золы в виде паров и в такой форме поступает в атмосферу, где активно трансформируется. Подобный механизм обогащения частиц золы ртутью через паровую фазу и приводит к тому, что концентрация ее на поверхности частиц заметно выше, нежели в их ядрах.

Многими исследователями установлены повышенные концентрации ртути в летучей золе (*coal fly ash*), образующейся при сжигании каменного угля (табл. 6). В летучей золе воркутинской ТЭЦ-2 уровни

Таблица 6. Содержание ртути в летучей золе углей

Hg, мг/кг	Источник
0,55	[21]
0,24	[45]
0,20	[17]
0,18	[22]
0,16-0,20	[42]
0,2	[40]
0,05	[46]

ртути составляли 1,5-3,5 мг/кг [25]. Есть сведения [49], что ртутьсодержащие аэрозоли присутствуют в продуктах сгорания практически всех стационарных источников энергии США, на которых используется каменный уголь. В большинстве случаев наблюдалось своеобразное вторичное обогащение летучей золы ртутью по сравнению с ее удельным содержанием в углях, что, например, может быть связано с упомянутым выше эффектом поверхностного обогащения зольных частиц за счет сорбции парогазовой формы данного металла.

Известно, что выброс золы с ТЭС не стабилен и зависит как от качества топлива, так и от технических характеристик станций. Обычно при сгорании порядка 500 кг угля образуется 35-55 кг золы. При эффек-

тивности очистки дымовых выбросов от твердых частиц в 70-80% в атмосферу поступает примерно 20-30 кг аэрозолей, а при эффективности очистки в 97-99% – всего 1-3 кг на каждую тонну использованного угля. Работающая на угле ТЭС мощностью 1000 МВт сжигает 4-5 млн. т угля в год. Если выбросы летучей золы не контролируются, то ежегодный ее вынос может достигать 200-250 тыс. т, но в реальности, например в США, лишь около 10% указанного количества (и даже меньше) попадают в атмосферу. Как правило, проектные данные золоулавливания современных ТЭС – 96-99%, реальные средние – 92-93%. Тем не менее в целом эффективность улавливания низка и для частиц размером 20 мкм (в зависимости от типа используемого осадителя) составляет не более 80-90%.

По расчетам [39], при годовой эмиссии ртути от ТЭС в 286 кг и при условии, что все это количество аккумулируется в верхнем 2,5-см слое почвы в пределах зоны радиусом 80 км, то спустя 5 лет после начала работы ТЭС содержание металла в почве возрастет на 8%. Подсчитано, что при сжигании 2,7 млн. т угля в атмосферу поступает 546 кг ртути [38]. Частицы дымовых выбросов рассеиваются на значительные расстояния, но обычно максимальное количество их оседает на почву в зоне 2,5-4 км от ТЭС. В.Б. Ильин [7] приводит данные польских авторов, что почвы в 4-х км зоне от ТЭС содержали от 0,2 до 0,6 мг/кг ртути. По [12], в зоне влияния крупной ТЭС, работающей на углях Донбасса, в радиусе 1 км содержания ртути в почвах и растениях в 16 раз превышали уровень кларка. В районах ТЭС, работающих на угле, в почвах формируются аномалии тяжелых металлов (Hg, Cd, Sb, Ni и др.) с их максимальными концентрациями в пределах 300-1500 м от дымовых труб ТЭС и минимальными – на расстоянии 3-5 км [1].

Сведений о распределении ртути в пыли, поступающей в среду обитания при сжигании других видов топлива, очень немного. Так, по С. Фридендеру [44], в летучей золе, образующейся при сжигании жидкого углеводородного топлива, концентрации ртути составляли 0,06 мг/кг. По данным [8], содержания ртути в твердых частицах, образующихся при сжигании торфа, в среднем составляли 0,08 мг/кг.

## **Коксохимическое производство**

Среднее содержание ртути в пылевых выбросах коксохимического производства (Днепропетровский коксохимический завод), поступающих в атмосферу, составляло 0,07 мг/кг (уровень ее фона в почвах) [8]. Судя по всему, существенное количество ртути улавливается очистными установками. Например, по данным [23], кларки концентрации

ртути в технологической пыли коксохимического производства достигали 1000 и более единиц, а в технологической пыли (до очистки) коксохимического завода (г. Видное) уровни ее составляли 50 мг/кг (Саэт и др., 1980). Повышенный пылевой выброс, характерный для данного производства, определяет потенциальную опасность загрязнения среды обитания ртутью в районах размещения коксовых заводов.

### **Использование горючих сланцев**

Сланцевая промышленность сопровождается образованием значительных объемов пыли. Например, в сланцевом бассейне Эстонии общий выброс вредных веществ (среди которых присутствует и ртуть) в атмосферу предприятиями «Эстонсланец» в 1983 г. составлял 15100 т, из которых 87% приходилось на твердые частицы [20]. По [15], при сжигании или энерготехнологической переработке поволжских сланцев в атмосферу поступают существенные количества ртути и ее соединений. По мнению автора цитируемой работы, прямое сжигание, например, поволжских сланцев на ТЭС недопустимо из-за последующего возможного превышения в атмосфере ПДК ртути.

Американские исследователи указывают [47], что рассеивание ртути от крупных предприятий по переработке горючих сланцев может представлять серьезную опасность для среды обитания. Они изучали накопление ртути почвами в районе залегания горючих сланцев в бассейне р. Пайсенс-Крик (США) и установили ее повышенную адсорбцию в почвах. Обычно наиболее загрязненные ртутью почвы располагались на некотором удалении от сланцеперерабатывающих предприятий, что, в частности, может быть связано с разномом образующейся сланцевой летучей золы, содержащей этот металл.

### **Производство цемента**

Цементное производство характеризуется значительными выбросами пыли, средние темпы образования которой оцениваются в 111 и 103 кг на 1 т товарного цемента для сухого и мокрого способов его производства соответственно [6]. Около 40% частиц пыли имеет размер менее 10 мкм. Основным источником ртути является сырье, используемое в производстве цемента (известняки, глина и др.), а также топливо. По данным [8], среднее содержание ртути в пылевых выбросах, образующихся при производстве цемента (заводы «Кричевцементшифер» и «Красносельскцемент») составляло 0,07 мг/кг.

## **Изготовление масляных красок и производство художественной керамики**

Изучение распределения ртути в пыли, образующейся в ходе технологических процессов на Алма-атинском экспериментальном заводе художественной керамики, показало [13], что концентрации этого металла достигали 1 мг/кг в пыли обжигового цеха; заметно ниже они были в гипсовой пыли (0,069 мг/кг) и в абразивной пыли ремонтно-механического цеха (0,176). По [23], в пыли, образующейся в ходе изготовления масляных красок, уровни содержания ртути в 1000 и более раз превышали ее кларк в земной коре.

Очевидно, что для рассматриваемых типов производства следует ожидать повышенный уровень загрязнения ртутью производственной среды и прилегающих к заводам территорий.

## **Производство стекла**

Эмиссия аэрозолей, возникающих при обращении с исходным сырьем и при эксплуатации стекловаренных печей, является основным источником загрязнения атмосферы в районе заводов по производству стекла. В зависимости от технологии и типа получаемого стекла количество образующихся аэрозолей колеблется от 0,36 до 11,3 кг на 1 т стекла [6]. Максимальные значения характерны для производства стекла, основанного на прессовании и выдувании. Как правило, при наличии специальных систем подавления объемы выбросов уменьшаются на один-два порядка.

Основным источником ртути на таких производствах является, судя по всему, исходное сырье. По [8], среднее содержание ртути в пылевых выбросах, образующихся при производстве хрустального стекла (Борисовский хрустальный завод и стеклозавод «Неман») составляло 0,06 мг/кг, что соответствует фоновому уровню этого металла в почвах.

## **Предприятия машиностроения и металлообработки**

Казахстанскими исследователями [13] было изучено распределение ртути в производственной пыли Алма-атинского опытно-механического завода. Установлено, что абразивная пыль отличается достаточно высокими концентрациями этого металла (табл. 7). Исклю-

чение составляет пыль инструментального цеха, отличающаяся малыми содержаниями ртути.

## Сжигание бытовых отходов

Ртуть присутствует в пыли (аэрозолях), образующихся и поступающих в атмосферу при сжигании бытовых отходов. Выбросы аэрозолей в отсутствие улавливания зависят от конструкции и режима эксплуатации оборудования, а также – в существенной мере – от природы

Таблица 7. Ртуть в абразивной пыли опытно-механического завода [13]

Цех, участок	Ртуть, мг/кг
№ 1, заточный участок	0,102
№ 2, заточный участок	0,171
Опытно-шлифовальный участок	0,338
Шлифовальный участок	0,195
Участок зачистки	0,24
Инструментальный	0,026

самых отходов (например, наличия в них Hg-содержащих материалов). В среднем эмиссия твердых веществ оценивается в 8,5-17,5 кг на 1 т перерабатываемых отходов [6]. При наличии систем очистки выбросы снижаются примерно на порядок. По [48], аэрозольная ртуть

составляет до 20% общей поставки ее от указанных источников.

Согласно [6], в летучей золе, образующейся при сжигании твердых городских отходов (ТБО), уровни ртути достигают 300 мг/кг. При этом концентрации газообразной ртути в выбросах печей для сжигания ТБО колеблются в пределах 0,015-1,230 (среднее 0,2) мг/кг. Немецкие исследователи установили [24], что среднее содержание ртути в пыли, выбрасываемой мусоросжигательной печью (среднее по 10 пробам, при содержании пыли в отходящих топочных газах 88 мг/м<sup>3</sup>), составляет 0,001 мг/м<sup>3</sup>. Эффективная мера для снижения содержания ртути в выбросах установок по сжиганию бытовых отходов – изъятие из них ртутьсодержащих изделий и их отдельная утилизация.

## Особенности распределения ртути в пылевых выбросах различных предприятий в условиях промышленного города

Особенности распределения ртути в пылевых выбросах различных предприятий в условиях промышленного города изучены на примере Саранска [29, 32, 34, 35, 37, 50, 52]. Здесь в ходе исследований на предприятиях отбирались пробы технологической пыли (из очистных

установок – циклонов, фильтров и т. п.), вентиляционной пыли (из вентиляционных систем производственных цехов) и пылесметы (пыль, осажденная на различных поверхностях производственных помещений – подоконниках, столах, эстакадах и т. п.). Химический состав технологической пыли характеризует особенности поступления загрязняющих веществ с организованным выбросом предприятия; состав вентиляционной пыли и пылесметов позволяет оценить особенности поступления поллютантов с неорганизованными выбросами и отражает качество среды в рабочих помещениях. В пределах промзон предприятий исследовалось также распределение ртути в верхнем слое (0-10 см) почвенного покрова, суммирующего многолетний эффект техногенного воздействия. Интенсивность накопления ртути в почвах может определяться деятельностью многих источников загрязнения, существующих в городе, но, безусловно, наибольшее значение для конкретной промплощадки имеют выбросы расположенного здесь производства.

Установлено, что максимальными концентрациями ртути отличаются технологическая пыль электролампового завода и НИиПИ источников света, где металл непосредственно используется в производственных процессах (табл. 8). Повышенные концентрации металла фиксируются в технологической пыли типографии, заводов железобетонных конструкций, специальных источников света (ртуть в небольших объемах используется в производстве), крупнопанельного домостроения, авторемонтного и тепловозо-ремонтного заводов. В данном случае ртуть явно присутствует в качестве примеси в используемых материалах, поступает из вторичных источников (измерительных приборов и т. п.). Другие заводы отличаются невысокими содержаниями ртути (в пределах ее фона в почвах) в технологической пыли.

Характерно присутствие значимых количеств ртути в вентиляционной пыли и пылесметах. Если повышенные концентрации ее в пыли электротехнических предприятий обусловлены спецификой технологических процессов, то на других предприятиях накопление этого металла в пыли может быть связано с поступлением его из вторичных источников. В этом плане показательны сравнительно высокие содержания ртути в пыли, отобранной в рабочих помещениях автотранспортных предприятий, в сборочных цехах завода автосамосвалов, приборостроительного производства, хладокомбината, где одним из главных источников поставки ее в производственную среду являются, очевидно, выходящие из строя ртутные лампы и измерительные приборы. Повышенные концентрации металла в вентиляционной пыли и пылесметах завода по производству медпрепаратов, судя по всему, могут быть связаны с влиянием близко расположенного электролампового завода и с возможным загрязнением помещений при использовании ртутных приборов.



Таблица 8. Ртуть в пылевых выбросах предприятий, мг/кг (в скобках – коэффициент концентрации относительно фонового содержания в почвах; прочерк – данные отсутствуют) [34, 35, 37, 50, 52]

Завод, предприятие	Пыль		
	Технологическая	Вентиляционная	Пылесметы
Электроламповый (лампы ртутные и накаливания)	12 (200)	2 (33,3)	-
Исследовательский и проектный институт источников света	4 (66,6)	1 (16,6)	2 (33,2)
Специальных источников света и электровакуумного стекла	0,3 (5)	0,5 (8,3)	0,3 (5)
Чугунолитейный	0,03 (<1)	0,3 (5)	0,25 (4,2)
Железобетонных конструкций	0,5 (8,3)	0,55 (9,2)	-
Типография	0,9 (15)	-	-
Теплового-ремонтный	0,88 (14,7)	-	-
Авторемонтный	0,3 (5)	-	-
Крупнопанельного домостроения	0,12 (2)	-	-
Резинотехнических изделий	0,07 (1,2)	-	-
Полупроводниковых изделий	0,06 (1)	-	-
Инструментальный	0,04 (< 1)	-	-
Медицинских препаратов	-	0,5 (8,3)	0,2 (3,3)
Кабельный	-	0,4 (6,6)	0,3 (5)
Теплоизоляционных материалов	-	0,22 (3,7)	0,3 (5)
Автотранспортное - 2	-	-	3 (50)
Автотранспортное - 1	-	-	1,3 (21,7)
Автосамосвалов	-	-	0,95 (15,8)
Хладокомбинат	-	-	0,65 (10,8)
Приборостроительный	-	-	0,6 (10)
Механический	-	-	0,39 (6,5)
Кирпичный	-	-	0,06 (1)
Фоновое содержание в почвах	0,06		

В почвах промплощадок предприятий, отличающихся максимальными концентрациями ртути в технологической пыли, как правило, также наблюдаются ее высокие содержания (табл. 9). Экстремальные уровни металла (превышающие ПДК) были закономерно обнаружены в почвах территорий электролампового завода (производство ртутных ламп) и завода специальных источников света (незначительное использование ртути в производстве), а также в отдельных пробах в пределах промплощадок заводов медпрепаратов, центральной котельной (сжигание газа и мазута), городских очистных сооружений (вторичное поступление из отвалов осадков сточных вод, в которых средняя концентрация металла составляет 4 мг/кг [30]). В почвах значительной части предприятий, не использующих в технологических циклах ртуть, фиксируются ее содержания, в 2-6 раз превышающие фоновый уровень в почвах.

Таблица 9. Ртуть в почвах промышленных площадок ( $K_C$  – коэффициент концентрации относительно содержания в фоновых почвах) [34, 35, 50, 52]

Завод, предприятие, производство	мг/кг	$K_C$
Электроламповый (лампы люминесцентные и накаливания)	28,3	472
Центральная котельная	0,90	15
Медицинских препаратов	0,89	14,8
Специальных источников света и электровакуумного стекла	0,84	14
Городские очистные сооружения	0,63	10,5
Полупроводниковых приборов, силовых преобразователей	0,39	6,5
Чугунолитейный	0,36	6
Консервный	0,29	4,8
Полупроводниковых изделий	0,27	4,5
Типография	0,23	3,8
Автотранспортное	0,18	3
Механический	0,16	2,7
Инструментальный	0,15	2,5
Резинотехнических изделий	0,13	2,2
Керамический	0,12	2
Специальных силовых преобразователей, бытовых приборов	0,11	1,8
Точных приборов	0,10	1,7
Кабельный	0,09	1,5
Тепловозо-ремонтный	0,09	1,5
Крупнопанельного домостроения	0,08	1,3
Силовой электроники (преобразователи, регуляторы и пр.)	0,08	1,3
Теплоизоляционных изделий	0,07	1,2
Строительно-транспортное	0,07	1,2
Автосамосвалов	0,07	1,2
Хладокомбинат	0,05	1
Мясокомбинат	0,05	1
Фоновое содержание в почвах	0,06	
ПДК в почвах	2,1	

Повышенные концентрации ртути в производственной среде и в почвах промзон обуславливают вероятность переноса ее рабочими (на обуви и одежде) в жилые помещения. Так, в волосах детей, родители которых работают на электроламповом заводе, были отмечены более высокие концентрации ртути, нежели у других детей [27, 31].

Таким образом, промышленная пыль, образующаяся на многих предприятиях города, характеризуется присутствием высоких концентраций ртути. Наиболее «загрязнена» этим токсичным металлом пыль электроламповых заводов, которые используют его в производственных операциях. Концентрирование ртути в пылевых выбросах многих предприятий обусловлено, очевидно, вторичными источниками (выходящими из строя ртутными лампами, измерительными приборами и т. п.) либо вхождением ее в состав сырья, материалов и топлива. Производственная среда большинства обследованных предприятий характеризуется постоянным присутствием пыли, обогащенной ртутью. Почвы промышленных зон отличаются повышенными концентрациями ртути.

## Общая оценка воздействия на среду обитания пылевых выбросов, содержащих ртуть

В табл. 10 и 11 приведены обобщенные данные о распределении ртути в различных разновидностях пыли, образующихся на промышленных предприятиях. Поставка ртути в составе пылевых выбросов определяет ее присутствие в атмосфере городов не только в парогазовой, но и в аэрозольной форме и в атмосферной пыли. Обычно доля аэрозольной ртути от общего содержания этого металла в воздухе промышленных районов изменяется от 1 до 30%. Предполагается, что подавляющая часть ее связана с частицами менее 0,4 мкм [14]. По А.А. Волоху [5], до 95-96% ртути атмосферных аэрозолей фоновых территорий фиксируется частицами менее 2 мкм (0,03-2 мкм). Наличие существенных количеств этого металла в респирабельных фракциях аэрозолей априори определяет их гигиеническую опасность.

Таблица 10. Ртуть в пылевых выбросах различных производств (обобщенные данные по организованным выбросам технологической пыли)

Промышленность, производство	Характеристика пыли	Среднее (пределы), мг/кг
<b>Производство ртути</b>		
Печь кипящего слоя	Пыль одиночного циклона	900
	Пыль группового циклона	1300
	Пыль электрофильтра	1400
Муфельная печь	Пыль от руды (циклон)	4000
	Пыль от ступпы (циклон)	4100
Трубчатая вращающаяся печь	Пыль циклона	530-610
	Пыль газохода	57500-61300
Извлечение золота из медно-колчеданных руд	Рудная пыль дробильного отделения	90
	Материал хвостохранилищ	8,8-67,8
<b>Металлургия</b>		
Окислительный агломерирующий обжиг и шахтная плавка свинцовых концентратов	Пыль аглоцеха	$n \times 1000$
	Плавильная пыль	$n \times 100$
	Пыль конверторная и шлаковозгоночная	$n - n \times 10$
Медеплавильное производство	Пыль обжига медных концентратов	15-560
Электросталеплавильное	Пылевывбросы	8,45
Мартеновское производство	Пылевывбросы	0,09
Чугунолитейное производство	Пылевывбросы	0,03-0,06
<b>Сжигание топлива</b>		
Сжигание каменного угля	Летучая зола	0,05-0,55
Сжигание торфа	Пылевывбросы	0,08

Окончание табл. 10

Электротехническая промышленность		
Производство ртутных ламп	Пылевывбросы	12
Институт источников света	Пылевывбросы	4
Производство источников света и электровакуумного стекла	Пылевывбросы	0,3
Производство стройматериалов		
Железобетонных конструкций	Пылевывбросы	0,5
Крупнопанельное домостроение	Пылевывбросы	0,12
Цементное	Пылевывбросы	0,07
Машиностроение и металлообработка		
Инструментальный завод	Пылевывбросы	0,04
Тепловозо-ремонтный завод	Пылевывбросы	0,88
Авторемонтный завод	Пылевывбросы	0,3
Механический завод	Абразивная пыль	0,102-0,338
Прочие производства		
Завод резинотехнических изделий	Пылевывбросы	0,07
Завод полупроводниковых изделий	Пылевывбросы	0,06
Крупная типография	Пылевывбросы	0,9
Коксохимический завод	Пылевывбросы	0,07
Производство хрустального стекла	Пылевывбросы	0,06
Сжигание бытовых отходов в печах	Летучая зола	до 300
Производство художественной керамики	Пылевывбросы	до 1 мг/кг
Фоновое содержание в почвах		0,06

Таблица 11. Ртуть в вентиляционной пыли и в пыли из рабочих помещений (пылесметы) различных предприятий и производств (обобщенные данные)

Промышленность, производство	Характеристика пыли	Среднее, мг/кг
Химическая		
Производство ацетальдегида	Вентиляционная	До 3000-10000
	Пылесметы	До 3000
Электротехническая		
Производство ртутных ламп	Вентиляционная	2
Исследовательский и проектный институт источников света	Вентиляционная	1
	Пылесметы	2
Производство специальных источников света и электровакуумного стекла	Вентиляционная	0,5
	Пылесметы	0,3
Кабельный завод	Вентиляционная	0,4
	Пылесметы	0,3
Производство стройматериалов		
Железобетонных конструкций	Вентиляционная	0,55
Теплоизоляционных материалов	Вентиляционная	0,22
	Пылесметы	0,3
Кирпичный завод	Пылесметы	0,06
Другие производства и заводы		
Чугунолитейный завод	Вентиляционная	0,3
	Пылесметы	0,25

Окончание табл. 11

Завод медицинских препаратов	Вентиляционная	0,5
	Пылесметы	0,2
Завод автосамосвалов	Пылесметы	0,95
Приборостроительный завод	Пылесметы	0,6
Механический завод	Пылесметы	0,39
Автотранспортные предприятия	Пылесметы	1,3-3
Хладокомбинат	Пылесметы	0,65

Следствием поставки ртути с пылью в атмосферу является формирование в пределах городов интенсивных ртутных аномалий в атмосферных аэрозолях, снеге, почвах, [5; 23; 27; 34]. По данным Ю. Пачины (1993), рассчитавшего эмиссию ртути для ряда стран (табл. 12), значимая доля ее поставки в атмосферу связана с твердыми частицами.

Таблица 12. Техногенная эмиссия ртути и ее основных форм, т/год (цит. по [43])

Страна	Ртуть(0) газ	Ртуть (II) газ	Ртуть (частицы)	Ртуть (общая)
Бельгия	5,3	2,2	1,4	8,9
Великобритания	21	14	5	40
Дания	2,1	1,9	0,8	4,8
Нидерланды	3	3,8	1,4	8,2
Польша	23,3	13,1	8,3	44,7
СССР	45	25,7	17	87,7
Финляндия	3,1	0,8	0,3	4,1
ФРГ	38	20	7	65
Франция	15,3	9	5,6	29,9
Швеция	5,6	1,4	0,5	7,5

## Заклучение

Пыль, образующаяся на промышленных предприятиях в ходе технологических процессов, в большинстве случаев характеризуется наличием повышенных количеств ртути. Наиболее «загрязнена» этим металлом пыль заводов, которые используют его в производственных операциях. Концентрирование ртути в пылевых выбросах многих предприятий обусловлено вторичными источниками и(или) наличием ее в виде примеси в составе сырья, различных материалов и топлива. Производственная среда большинства предприятий отличается наличием пыли, обогащенной ртутью.

При разработке ПДВ, СЗЗ и обосновании санитарно-гигиенических мероприятий необходимо учитывать наличие ртути в пылевых выбросах и в рабочих помещениях. В соответствующей статистической отчетности предприятия должны отчитываться за выброс ртути в составе промышленной пыли. Уловленную очистными установками пыль, обогащенную ртутью, необходимо утилизировать.

Сбор и утилизация вышедших из строя Hg-содержащих изделий и приборов позволят снизить загрязнение производственной среды ртутью. На заводах, отличающихся повышенными концентрациями ртути в пылесметах, отличающихся повышенными концентрациями ртути в пылесметах, отличающихся повышенными концентрациями ртути в пылесметах, необходимо проведение специальных исследований и (при необходимости) демеркуризационных мероприятий.

## Литература

1. *Беляев В.К.* Особенности загрязнения почв в районах действующих электростанций (на примере КАТЭКа) // Прогноз и контроль геологической среды в районах освоения месторождений твердых горючих ископаемых. – М., 1989, с. 119-122.
2. *Боброва Л.В., Кондрашова О.В., Федорчук Н.В.* Экономика геолого-разведочных работ на ртуть, сурьму и висмут. – М.: Недра, 1990. – 156 с.
3. *Богдасаров А.А.* Утилизация твердых отходов ртутного производства в качестве строительных материалов // Экономика минерального сырья и геолого-разведочных работ. Экспресс-информация. Вып. 12. – М.: ВИЭМС, 1983, с. 1-23.
4. *Бульбулян М.А., Ивкова Е.П.* Оценка условий труда при добыче руды и производстве ртути с позиций возможного канцерогенного воздействия // Медицина труда и промышленная экология, 1994, № 4, с. 15-17.
5. *Волох А.А.* Опыт контроля за загрязнением атмосферного воздуха металлами и летучими органическими соединениями на городских и фоновых территориях // Геохимические исследования городских агломераций. – М.: ИМГРЭ, 1998, с. 40-58.
6. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1988. – Т. 1 – 760 с.; Т. 2 – 712 с.
7. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растения. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
8. *Какарека С.В., Хомич В.С., Кухарчик Т.И. и др.* Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: опыт оценки удельных показателей. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 1998. – 156 с.
9. *Какарека С.В., Кухарчик Т.И., Хомич В.С., Янин Е.П.* О состоянии и проблемах инвентаризации выбросов ртути в атмосферу // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 12-37.
10. *Каменев В.Ф., Фадеева Л.В.* Распределение ртути в серноокислом производстве // Цветные металлы, 1983, № 8, с. 35-36.
11. *Карамова Л.М., Алакаева Р.А.* Экопатология ртутного загрязнения // Экологические проблемы промышленных зон Урала. – Магнитогорск: МГМА, 1997, с. 7.
12. *Кизильштейн Л.Я., Гофен Г.И., Перетяцько А.Г.* Тяжелые металлы в почвах и растениях района ТЭС, работающей на угле // Биогеохимическая индикация окружающей среды. – Л.: Наука, 1988, с. 27-28.
13. *Кобзарь А.П.* Эколого-геохимические исследования для выявления и оценки источников загрязнения Алма-атинской агломерации, разработка рекомендаций по охране среды. – Алма-Ата, 1989. – 32 с.
14. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. Ртуть: Пер. с англ. – Женева-Москва: ВОЗ-Медицина, 1979. – 149 с.

15. Малов В.Т. Оценка выбросов в атмосферу соединений свинца и ртути при сжигании и энерготехнологическом использовании поволжских сланцев // Известия вузов. Энерг., 1993, № 1-2, с. 96-98.

16. Методические рекомендации по гигиенической оценке загрязнения атмосферного воздуха в районах размещения предприятий по производству и применению ртути. – М.: Минздрав СССР, 1989. – 17 с.

17. Михайлов В.А., Пушкин С.Г., Назаров А.А., Гильберт Э.Н. Исследование элементного состава атмосферных аэрозолей с помощью современных аналитических методов // Тр. Зап.-Сиб. НИГМИ, вып. 40. – М.: Гидрометеоздат, 1979, с. 55-78.

18. Мустафин С.К., Минигазимов Н.С., Зайнуллин Х.Н. и др. Проблемы ртутной безопасности Южного Урала // Экологические проблемы промышленных зон Урала. Т. 1. – Магнитогорск: МГМА, 1998, с. 148-154.

19. Остромогильский А.Х., Петрухин В.А. Тяжелые металлы в атмосфере: источники поступления и методы оценки их влияния // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Вып.2. – Л.: Гидрометеоздат, 1984, с. 56-70.

20. Парахонский Э.В. Охрана и контроль за состоянием природной среды при добыче горючих сланцев. – Таллин: Валгус, 1984. – 39 с.

21. Парцев Д.П., Данилычев И.А., Беккер А.А., Павлов А.А. Оценка вклада выбросов ТЭЦ, РТС, КТС и котельных в загрязнении атмосферного воздуха Москвы // Тр. ЦВГМО, вып. 19(2), 1987, с. 19-24.

22. Савенко В.С. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы. – М.: ВИНТИ, 1991. – 210 с.

23. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

24. Экологическая химия: Пер. с нем. - М.: Мир, 1996. - 396 с.

25. Юдович Я.Э., Золотова В.В. Элементы-примеси в углях Печорского бассейна // Народное хозяйство Республики Коми, 1994, 3, № 1, с. 16-25.

26. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. – Л.: Наука, 1985. – 239 с.

27. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.

28. Янин Е.П. Специфический источник поступления загрязняющих веществ в жилые помещения // Медицина труда и промышленная экология, 1995, № 10, с. 39-40.

29. Янин Е.П. Эколого-геохимические аспекты производства и использования люминесцентных ламп // Ртуть. Комплексная система безопасности. – СПб., 1996, с. 61-73.

30. Янин Е.П. Геохимические особенности осадков сточных вод промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1996. – 41 с.

31. Янин Е.П. Специфический источник поступления ртути в жилые помещения // Ртуть. Комплексная система безопасности. – СПб., 1996, с. 45-48.

32. Янин Е.П. Экологические аспекты производства и использования ртутных ламп. – М.: Диалог-МГУ, 1997. – 41 с.

33. Янин Е.П. Хлорно-щелочное производство как источник эмиссии ртути в окружающую среду: экологическая ситуация, состояние и проблемы учета выбросов в СНГ // Проблемы инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. – Минск: ИПИПРЭ, 1998, с. 58-69.

34. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.

35. Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий // Ртуть. Комплексная система безопасности. – СПб., 1999, с. 26-30.
36. Янин Е.П. Добыча и производство ртути в СНГ как источник загрязнения окружающей среды // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 38-59.
37. Янин Е.П. Химические элементы в пылевых выбросах электротехнических предприятий // Медицина труда и промышленная экология, 2000, № 8, с. 24-27.
38. Anderson W.L., Smith K.E. Dynamics of mercury at coal-fired power plant and adjacent cooling lake // Environ. Sci. and Technol., 1977, 11, № 1, p. 75-80.
39. Barber L.B., Steele K.F. Variability of mercury concentrations of midcontinent soils, USA; baseline data for a coal-fired power plant // Trace Subst. Environ. Health., v. 15: Proc. Univ. Mo., 15th Annu. Conf., Columbia, June 1-4, 1981. – Columbia, Mo., 1981, p. 317-322.
40. Billings C.E., Matson W.R. Mercury emission from coal combustion // Science, 1972, 176, p. 1232-1233.
41. Boron D.J., Wan E.J. Controlling toxic emissions // Coal, 1990, 96 (1), N 6, p. 121-123, 125, 127-129.
42. Brzezinska-Paudyn A., Van Loon J.C., Balicki M.R. Multielement analysis and mercury speciation in atmospheric samples from the Toronto area // Water, Air and Soil Pollut., 1986, 27, № 1-2, p. 45-56.
43. Ebinghaus R., Tripathi R.M., Wallschläger D., Lindberg S.F. Natural and anthropogenic mercury sources and their impact on the air-surface exchange of mercury on regional and global scales // Mercury contaminated sites: Characterization, risk assessment and remediation. – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1999, p. 3-50.
44. Friedlander S. K. Chemical element balances and identification of air pollutant sources // Environ. Sci. and Technol., 1973, 7, № 3, p. 235-240.
45. Holcombe L.J., Eyons S.P., Switzer P. Variability of elemental concentrations in power plant ash // Environ. Sci. and Technol., 1985, 19, № 7, p. 615-620.
46. Klien D.H., Andren A.W., Carter J.A. et al. Pathways of thirtyseven trace elements through coal-fired power plant // Environ. Sci. and Technol., 1975, 9, № 10, p. 973-979.
47. Klusman R.W., Matoske C.P. Adsorption of mercury by soils from oil shale development areas in the Piceans Creek basin of northwestern Colorado // Environ. Sci. and Technol., 1983, 17, № 5, p. 251-256.
48. Mercury contaminated sites: Characterization, risk assessment and remediation. – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1999. – 538 p.
49. 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.
50. Yanin E.P. Electrical Engineering Industry and the Urban Environment (man-made pollution and ecological effects). – Dialog-MGU Publ., Moscow, 1998. – 37 p.
51. Yanin E.P., Heaven S., Ilyushchenko M.A. Mercury pollution in the environments of the chlor-alkal factory in Pavlodar, Kazakhstan // Biogeochemistry and Gechemical Ecology. – М.: GEOKHI, 2001, p. 90-97.
52. Yanin E.P., Moskalenko N. N. Monitoring and Assessment of Mercury Pollution in the Vicinity of Electrical Engineering Plants in the CIS // Mercury Contaminated Sites: Characterization, Risk Assessment and Remediation. – Springer Environmental Science Book Series, Springer Verlag Heidelberg, 1999, p. 221-234.



## Содержание

Введение.....	3
Добыча и производство ртути.....	3
Золотодобывающая промышленность.....	6
Металлургическая промышленность.....	7
Химическая промышленность.....	8
Сжигание каменного угля, нефти и торфа.....	9
Коксохимическое производство.....	11
Использование горючих сланцев.....	12
Производство цемента.....	12
Изготовление масляных красок и производство художественной керамики.....	13
Производство стекла.....	13
Предприятия машиностроения и металлообработки.....	13
Сжигание бытовых отходов.....	14
Особенности распределения ртути в пылевых выбросах различных предприятий в условиях промышленного города.....	14
Общая оценка воздействия на среду обитания пылевых выбросов, содержащих ртуть.....	18
Заключение.....	20
Литература.....	21

---

Янин Евгений Петрович  
Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий

Подписано к печати 6.12.2004.  
Формат 60 x 90 1/16. Уч. изд. л. 1,5.  
Тираж 100. Заказ  
Полиграфическая база ИМГРЭ