

## **Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий // Экологическая экспертиза, 2002, № 4, с. 10–29.**

### Введение

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

Как известно, ежегодно предприятия отчитываются за выбросы вредных веществ, выделение которых определяется томами ПДВ (предельно допустимых выбросов) 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 производственных процессах. Во-вторых, в документах статистической отчетности фиксируется поставка в атмосферу только паров металлической ртути; ртуть, присутствующая в составе пылевых выбросов, практически никогда не учитывается. В-третьих, традиционно отсутствует контроль за выбросами ртути на тех предприятиях, где она или ее соединения прямо 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 вероятности попадания ее в пылегазовыбросы и другие отходы. Образование пыли (пылевых выбросов) типично для самых разнообразных производственных процессов. Однако данные о распределении ртути в производственной пыли единичны и до сих пор не систематизированы. В предлагаемом обзоре предприятия 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 технологическими газами металлургического производства, т. е. подавляющая его часть поступает в окружающую среду в парогазовой форме [16]. В то же время технологические процессы, типичные для добычи и производства ртути, сопровождаются образованием значительных количеств аэрозолей и пыли (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>, при введении в эксплуатацию оросительных систем она снизилась, но, тем не менее, была достаточно высока (в среднем до 14 мг/м<sup>3</sup>). В процессе дезинтеграции ртутной руды в воздух после очистки на циклонах и скрубберах поступала пыль в количестве 500-2600 мг/м<sup>3</sup>,

а после подготовки в сушильном и флотационном отделениях – 1450-24200 мг/м<sup>3</sup>. Запыленность воздуха в дробильных отделениях комбината достигала 10,4-16,0 мг/м<sup>3</sup> [4]. Все разновидности пыли характеризовались очень высокими концентрациями ртути. Естественно, что общие потери ртути с пылью зависят от выхода (количества) последней и абсолютной концентрации в ней поллютанта. В свою очередь, количество образующейся пыли определяется типом обжигового агрегата и зависит от оснащенности плавильных печей очистными установками. Распределение ртути в различных видах отходов металлургического передела ртутных руд заметно варьируется, но, как правило, именно в пылевидных продуктах происходит наиболее интенсивное ее накопление, что, например, подтверждается данными, в свое время полученных для Никитовского ртутного комбината (табл. 1).

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

Объект	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
Фоновое содержание в почвах	0,06	
ПДК в почвах	2,1	

Фазовый анализ показал, что если в огарках ртуть была представлена преимущественно сульфидной (так называемой «первичной») формой, то в 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). Можно предположить, что в «остатке» ртуть представлена главным образом изоморфной формой и, возможно, каломелью. В пыли муфельной печи ртуть была обнаружена в основном в металлической форме. Интенсивное концентрирование ртути преимущественно в металлической (элементарной) форме, а также присутствие окисленных соединений свидетельствует о вторичном обогащении пыли этим металлом, который в ходе производственных процессов активно сорбируется тонкими частицами твердого материала. При дезинтеграции и обжиге руд происходит также трансформация исходных (первичных) форм нахождения ртути.

В свое время на ТОО «Краснодарский рудник» (Сахалинское месторождение ртути) ртутные руды подвергались окислительному обжигу в трубчатой вращающейся печи. Исследования химического состава руд и различных продуктов обжига, установили, что ртуть активно концентрируется в песках пылевой камеры, пыли циклонов и особенно в пыли газохода (табл. 3). Фазовый анализ установил, что во всех продуктах она представлена преимущественно (более 80% от общего содержания) сульфидной формой. Изучение распределения металла в гранулометрических фракциях продуктов обжига показало, что, например, в пыли циклонов и песках пылевой камеры концентрации его в грубых фракциях составляли 10-30 мг/кг, в более тонких - 500-900 мг/кг, в так называемой отвальной пыли - 0,003% (среднее по многолетним данным).

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

Продукт	Окислен- ная	Металли- ческая	Сульфид- ная	Оста- ток	Сум- ма
Огарок от рядовой руды	-	-	20	-	20
Огарок от штуфной 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 электрофилтра	Следы	800	1300	200	2300
Пыль от руды	800	2200	400	600	4000
Пыль от ступпы	1000	2500	500	600	4600

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

Продукт	Технологические пробы	
	1976 г.	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 ртутью главным образом за счет трансформации ее сульфидных (первичных) форм и образования «вторичных» форм – элементарной ртути и ее окисленных соединений. Уровни содержания металла практически во всех разновидностях пыли, образующейся при его добыче и получении металлургическим путем, в десятки-сотни-тысячи раз превышают фоновую концентрацию в почвах и в десятки-сотни, иногда в тысячи раз – ПДК в почвах.

Районы добычи и производства ртути, как известно, характеризуются чрезвычайно высоким уровнем загрязнения среды обитания этим токсичным металлом [36]. Безусловно, в формировании техногенных геохимических аномалий ртути, особенно фиксируемых почвами, существенная роль принадлежит пылевым выбросам ртутных предприятий.

#### Золотодобывающая промышленность

Предприятия золотодобывающей промышленности также характеризуются образованием значительных количеств пылевых выбросов (в том числе, неорганизованных). В большинстве случаев перерабатываемые руды отличаются повышенными концентрациями ртути, что определяет вероятность обогащения этим металлом образующейся пыли. Например, ртуть в значимых количествах содержится в окисленных рудах медно-колчеданных месторождений Юж. Урала, из которых в течение 50 лет на Семеновской золоизвлекательной 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 твердыми отходами, составляет около 60 т. Последние годы фабрика работает на руде

Гайского месторождения, с которой на переработку ежегодно поступает около 0,4-0,5 т ртути. Уровни содержания ее в рудной пыли дробильного отделения Семеновской фабрики в 1995 г. составляли 90 мг/кг, что многократно превышает природные уровни этого металла в почвах.

Значительные объемы образующейся производственной пыли, особенно при дроблении руд, и высокие концентрации в ней ртути в существенной мере и определяют высокий уровень техногенного воздействия на среду обитания. Исследования показали, что не только промышленная зона золотоизвлекательной фабрики, но и территория расположенного рядом с ней пос. Семеновского интенсивно загрязнены ртутью. Так, концентрации металла в атмосферном воздухе на территории фабрики в десятки раз превышали ПДК; многократное (в 1,4-14 раз) превышение ПДК ртути отмечено в жилой зоне поселка. В пробах воды, отобранных из ранее используемых для питьевого водоснабжения скважин, уровни ртути превышали ПДК в несколько раз (максимально в 23 раза). Ее повышенные содержания установлены в некоторых видах пищевых продуктов. Содержания ртути в крови обследованной группы жителей поселка превышали допустимый уровень у 57% взрослых и у 31% детей, причем абсолютные концентрации ее в крови детей в среднем почти в 2 раза были выше, чем у взрослых. У некоторых работников золотоизвлекательной фабрики установлена хроническая ртутная интоксикация профессиональной этиологии [11].

#### Металлургическая промышленность

Длительное время считалось, что ртуть в выбросах металлургических заводов находится главным образом в парогазовой форме, т. е. практически вся она возгоняется из перерабатываемого сырья и переходит в технологические газы (см., например, [19]). Однако, во-первых, известно, что металлургическое производство характеризуется образованием значительных количеств организованных и неорганизованных выбросов пыли. Во-вторых, работами последних лет установлено, что ртуть присутствует, часто в значимых концентрациях, в пылевых выбросах практически всех предприятий металлургического комплекса. Так, исследования, выполненные на предприятиях Беларуси и Украины, показали, что ртуть в тех или иных количествах присутствовала в пылевых выбросах разных металлургических заводов, причем ее максимальными содержаниями отличалась пыль электросталеплавильного производства (табл. 4), что, отчасти, объясняется «загрязнением» ртутью перерабатываемого здесь металлического лома (присутствие в нем ртутьсодержащих изделий и материалов).

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

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

В процессе окислительного агломерирующего обжига и шахтной плавки свинцовых концентратов большая часть содержащейся в них ртути (> 90%) возгоняется и сорбируется пылью, улавливаемой электрофильтрами, рукавными фильтрами, а также установками по очистке вентиляционных выбросов [2]. Из газовой фазы, в случае получения серной кислоты, в промывных башнях осаждалось около 5,5% металла. Содержание его в пыли аглоцеха достигали  $n \times 1000$  г/т, в плавильной пыли –  $n \times 100$  г/т, конверторной и шлаковозгонной –  $n - n \times 10$  г/т. Основная масса пыли, образующейся

при спекании и плавке сырья (60-80%), является оборотным продуктом, что ведет к увеличению потерь металла за счет возрастания выхода пыли и непрерывной циркуляции значительного ее количества. Исследования, проведенные на Челябинском цинковом электролитном заводе [10], показали, что только 60% ртути из газов улавливается и выводится с промывными кислотами (16,7%) и шламами (43,3%). Оставшееся количество ртути поступает в сушильно-абсорбционное отделение и попадает в конечную продукцию (серную кислоту); примерно 0,4% металла выбрасывается с отходящими газами в атмосферу. Поскольку, согласно данным авторов цитируемой работы, в богатых шламах мокрых электрофильтров содержание ртути составляет 10-40%, то можно предположить, что она поступает в атмосферу и с пылевыми выбросами.

В медеплавильном производстве ртуть при обжиге медных концентратов возгоняется только на 80-90% [2]. При очистке сернистых газов она частично улавливается с пылью (в которой ее содержания достигают 15-560 г/т), частично поступает с газами в сернокислотные цеха, где в промывном отделении концентрируется в селенистых шлаках (в основном идущих в отходы). Если перерабатывается тонкая пыль, образующаяся в ходе газоочистки, то ртуть накапливается (до 1100 г/т) в свинцовом кеке, который затем отправляется на дальнейшую 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 составляет значительные величины, которые соизмеримы с масштабами добычи на небольших ртутных предприятиях. В ходе переработки таких концентратов определенное количество металла теряется с пылью.

Таким образом, пыль, образующаяся в ходе технологических процессов на предприятиях цветной металлургии, отличается высокими концентрациями ртути, что в совокупности с относительно значимыми объемами пылевыбросов определяет высокий уровень загрязнения среды обитания этим металлом в районе таких заводов. Пылевыбросы предприятий черной металлургии, за исключением электросталеплавильного производства, перерабатывающего вторсырье, характеризуются относительно невысокими (в пределах фоновых уровней в почвах) содержаниями ртути. Однако, как правило, 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 (Индия, Таиланд, Китай и др.). Как правило, основные потери металла (до 80%), например, на отечественных хлорно-щелочных заводах были обусловлены утечками металлической ртути, неполнотой ее сбора при эксплуатации электролизеров и проведении ремонтных работ, а также при авариях [33, 51]. Обычно такие предприятия отчитывались за выброс в атмосферу паров металлической ртути, количество которых определялось расчетным методом.

В то же время многие химические заводы характеризуются наличием производственных процессов, генерируемых определенными количествами пыли. Например, ацетальдегидные заводы, где ртуть используется в качестве катализатора, включают производство карбида кальция, которое сопровождается образованием пыли (при использовании значительных объемов доломита, известняка, кокса и т. д.). Естественно, что при наличии мощного источника паров металлической ртути происходит вторичное обогащение пыли этим поллютантом (за счет сорбции и т. п.). Например, чрезвычайно 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 помещениях 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 практически вся содержащаяся в нем ртуть улетучивается, небольшое ее количество концентрируется в так называемой спекшейся золе и в золе на фильтрах очистки, что, в частности, иллюстрируется табл. 5. В данном случае ТЭС, мощностью 660 МВт, оснащена необходимым очистным оборудованием и работает на угле с содержанием Hg порядка 0,3 мг/кг. Как видим, преобладает выброс в атмосферу газообразной ртути. Одновременно значимые ее количества связаны с золой, уловленной на фильтрах.

По данным других американских авторов [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.

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

Компонент	Среднее кол-во вещества, т/сут	Средняя концентрация ртути, мг/кг	Среднее кол-во 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

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, очень часто интенсивнее обогащаются микроэлементами, в том числе ртутью. Такие частицы могут достаточно долго находиться в атмосфере; они значительно легче проникают в легкие при дыхании. Не исключено, что при высоких температурах ртуть сорбируется на поверхности мелких частиц золы в виде паров и в такой форме поступает в атмосферу, где практически сразу же начинает активно трансформироваться. 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. Естественно, что для ультрамалых частиц за счет большей удельной поверхности эффект обогащения проявляется особенно резко.

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 ртути составляли 1,5-3,5 мг/кг [25]. Есть сведения [49], что ртутные аэрозоли содержатся в продуктах сгорания практически всех стационарных источников энергии США, на которых используется каменный уголь. В большинстве случаев наблюдается своеобразное вторичное обогащение летучей золы ртути 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.

Таблица 6. Содержание ртути в летучей золе углей

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

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 эффективности 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 электростанция мощностью 1000 МВт сжигает 4-5 млн. т угля в год. Если выбросы летучей золы не контролируются, то ежегодный выброс частиц может достигать 200-250 тыс. т. Однако 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 эффективность улавливания твердых высокодисперсных частиц низка и (в зависимости от типа осадителя) для частиц размером 20 мкм составляет не более 80-90%.

По расчетам американских исследователей [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 электростанции содержание металла в почве возрастет на 8%, или на 0,003 мг/кг (при начальном уровне в 0,036 мг/кг). Подсчитано также, что при сжигании 2,7 млн. т угля в атмосферу поступает 546 кг ртути, при этом в почве ее концентрация может достигать 0,022 мг/кг, в донных отложениях водоема-охладителя - 0,049 мг/кг, в рыбе - 0,070 мг/кг [38]. Частицы дымовых выбросов рассеиваются на значительные расстояния, но обычно максимальное количество их оседает на поверхности почвы в зоне 2,5-4 км от электростанций.

В районе ТЭС фиксируется ртутное загрязнение почв и произрастающих на них сельскохозяйственных культур. Так, В.Б. Ильин [7] приводит данные польских авторов о том, что на удалении 2-3 км от электростанции, сжигающей бурый уголь, концентрации ртути в соломе достигали 0,8 мг/кг, на удалении 7 км - 0,4 мг/кг (фоновый уровень

составлял 0,021 мг/кг). Почвы в 4-х км зоне от ТЭС содержали от 0,2 до 0,6 мг/кг ртути. Как правило, в районах ТЭС, работающих на каменном угле, в почвах формируются аномалии тяжелых металлов (Hg, Cd, Sb, Ni и др.), имеющие отчетливое зональное строение, которые разделяются на центральную, промежуточную и периферийную части с разными концентрациями поллютантов - максимальными в пределах 300-1500 м от дымовых труб ТЭС и минимальными - на расстоянии 3-5 км [1]. По данным [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.

Сведений о распределении ртути в пыли, поступающей в среду обитания при сжигании других видов топлива, очень немного. Так, по С. Фридлиндеру [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 локальном сжигании торфа, были относительно невелики и в среднем достигали 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, что находится на уровне ее фона в почвах [8]. Судя по всему, существенное количество ртути улавливается очистными установками. Например, данные Ю.Е. Саета и соавт. [23] показывают, что кларки концентрации ртути в технологической пыли коксохимического производства достигают 1000 и более единиц, а в технологической пыли коксохимического завода (г. Видное) концентрации ее достигали 50 мг/кг (Сает и др., 1980). В любом случае относительно повышенные пылевые выбросы, характерные для данного производства, определяют потенциальную опасность загрязнения среды обитания ртутью в районах их размещения.

#### Использование горючих сланцев

Сланцевая промышленность сопровождается образованием значительных объемов пыли. Например, в 1983 г. в сланцевом бассейне Эстонии общий выброс вредных веществ (среди которых присутствует и ртуть) в атмосферу предприятиями «Эстонсланец» составлял 15100 т, из которых 87% приходилось на твердые частицы [20]. По расчетам В.Т. Малова [15], при сжигании или энерготехнологической переработке поволжских сланцев в атмосферу поступают существенные количества ртути и ее соединений. В частности, по мнению автора цитируемой работы, прямое сжигание 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 с позиций загрязнения ее данным металлом. Они изучали накопление ртути почвами в районе залегания горючих сланцев в бассейне р. Пайсенс-Крик на северо-западе Колорадо (США) и экспериментально установили ее повышенную адсорбцию в почвах. Обычно наиболее загрязненные ртутью почвы расположены на некотором удалении от сланцеперерабатывающих предприятий, что, в частности, может быть связано с разносом образующейся сланцевой летучей золы, содержащей ртуть.



## Производство цемента

Цементное производство характеризуется значительными выбросами пыли, средние темпы образования которой оцениваются в 111 и 103 кг на 1 т получаемого цемента для сухого и мокрого способов его производства соответственно [6]. При этом 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. В пыли бетонно-смесительного цеха завода по изготовлению железобетонных конструкций уровни содержания ртути составляли 5 мг/кг (Саэт и др., 1980).

## 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 достаточно высоких значений в пыли обжигового цеха (до 1 мг/кг); заметно ниже они были в гипсовой пыли (0,069 мг/кг) и в абразивной пыли ремонтно-механического цеха (0,176). По данным [23], в пыли, образующейся в ходе изготовления масляных красок, уровни содержания ртути в 1000 и более раз превышали ее кларк в земной коре. Например, в технологической пыли одного из заводов по производству масляных красок, уловленной фильтрами очистки, концентрация ртути достигала 50 мг/кг. Безусловно, для рассматриваемых типов производства следует ожидать высокий уровень загрязнения ртутью производственной среды, промышленных зоны и прилегающих к заводам территорий.

## Производство стекла

Сведения о распределении ртути в выбросах данного типа производства практически отсутствуют. Тем не менее, известно, что эмиссия аэрозолей, возникающих при обращении с исходным сырьем и при эксплуатации стекловаренных печей, являются основными источниками загрязнения атмосферы в районе таких заводов. 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 данным [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, образующаяся в ходе практически всех технологических процессов, отличается достаточно высокими концентрациями этого металла (табл. 7). Исключение

составляет пыль инструментального цеха, характеризующаяся малыми содержаниями ртути.

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

#### 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 самих отходов (наличие в них ртутьсодержащих изделий и приборов и т. д.). В среднем эмиссия аэрозолей оценивается в 8,5-17,5 кг твердых веществ на 1 т перерабатываемых отходов [6]. При наличии систем очистки выбросы снижаются примерно на порядок. По данным [48], аэрозольная ртуть составляет до 20% общей поставки ее от указанных источников. Есть сведения, что в летучей золе, образующейся при сжигании твердых городских отходов, концентрации ртути достигают 300 мг/кг [6], что явно обусловлено присутствием в отходах ртутьсодержащих ламп, гальванических элементов и др. При этом концентрации газообразной ртути в выбросах печей для сжигания твердых городских отходов обычно колеблются в пределах 0,015-1,230 (среднее 0,2) ppm. Немецкие исследователи установили [24], что среднее содержание ртути в пылеобразных частицах, выбрасываемых 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 вышедших из строя ртутьсодержащих изделий и их переработка на специальных станциях.

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

Особенности распределения ртути в пылевых выбросах различных предприятий в условиях промышленного города достаточно детально изучены на примере Саранска [29, 32, 34, 35, 37, 50, 52]. Здесь в ходе исследований на промышленных 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. Кроме того, в пределах промышленных зон предприятий исследовалось также распределение ртути в верхнем слое (0-10 см) почвенного покрова, который, как известно, отражает многолетний эффект техногенно-

го воздействия. Естественно, что 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. Максимальными концентрациями ртути отличается технологическая пыль электролампового завода и НИиПИ источников света, где металл непосредственно используется в производственных процессах (табл. 8).

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 люминесцентные 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)	-	-
Тепловозо-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	

Относительно высокие концентрации металла фиксируются в технологической пыли типографии, заводов железобетонных конструкций, специальных источников света, крупнопанельного домостроения, авторемонтного и тепловозо-ремонтного заводов. В данном случае ртуть явно присутствует в качестве примеси в используемые на предприятиях материалы и(или) поступает из вторичных источников (ртутных ламп, измерительных приборов и т. п.). Другие обследованные заводы (инструментальный, резинотехнических и полупроводниковых изделий) отличаются невысокими содержаниями ртути в технологической пыли (ниже ее фонового уровня в почвах).

Характерно присутствие значимых количеств ртути в вентиляционной пыли и пылесметах. Если повышенные концентрации ее в пыли электротехнических предприятий обусловлены спецификой технологических процессов, то в вентиляционной пыли и особенно в пылесметах других производств накопление металла может быть связано с поступлением его из вторичных источников. В этом плане показательны относительно 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, видимо, выходящие из строя ртутные лампы и измерительные приборы. Повышенные концентрации металла в вентиляционной пыли и пылесметах завода по производству медицинских препаратов отчасти, видимо, могут быть связаны с влиянием близко расположенного электролампового завода.

В почвах промплощадок предприятий, отличающихся максимальными концентрациями ртути в технологической пыли, как правило, также наблюдаются ее высокие содержания (табл. 9).

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	

Экстремальные уровни металла (многократно превышающие ПДК) были закономерно обнаружены в почвах территории электролампового завода, а также в отдельных пробах, отобранных в пределах промплощадок завода специальных источников света (незначительное использование ртути в производстве), медпрепаратов, центральной котельной (сжигание газа и мазута), городских очистных сооружений (вторичное поступление из отвалов осадков сточных вод, в которых концентрации металла в среднем составляют 4 мг/кг [30]). Принципиальным является тот факт, что в почвах промплощадок значительной части предприятий, не использующих в технологических циклах ртуть, фиксируются ее концентрации, в 2-6 раз превышающие фоновый уровень в почвах. Это свидетельствует о присутствии ртути в пылегазовыбросах (как следствие ее нахождения в сырье, материалах, топливе), а также о наличии вторичных источников (ртутные лампы и приборы и т. п.).

Следует сказать, что повышенные концентрации ртути в производственной среде и в почвах промплощадок обуславливают вероятность переноса ее на обуви и одежде и служащих в жилые помещения. Например, в волосах детей, родители которых работают на электроламповом заводе, были отмечены значимые концентрации ртути, тогда как у детей, родители которых работают на других предприятиях города, ее уровни были ниже чувствительности аналитического метода [27, 31]. Не исключено попадание ртути в конечную продукцию, что особенно актуально для завода медпрепаратов и хладокомбината.

Таким образом, пыль, образующаяся на многих промышленных 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, видимо, 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, являясь депонирующей средой для поллютантов, также 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). Есть сведения, что с твердыми частицами связано до 75% всей ртути, присутствующей в атмосферных осадках. Естественно, что с позиций потенциальной токсичности промышленные выбросы паров металлической ртути и ее летучих органических соединений представляются более опасными, нежели поставка этого металла в составе пыли. Однако в пыли ртуть может присутствовать в подвижных соединениях, способных к активной трансформации. Наличие существенных количеств этого металла в респираторных 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
Производство ртути		
Печь кипящего слоя	Пыль одиночного циклона	900
	Пыль группового циклона	1300
	Пыль электрофилтра	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
Металлургия		
Окислительный агломерирующий обжиг и шахтная плавка свинцовых концентратов	Пыль аглоцеха	n x 1000
	Плавильная пыль	n x 100
	Пыль конверторная и шлаковозгоночная	n – n x 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
Сжигание каменного угля	Летучая зола	0,05-0,55
Сжигание торфа	Пылевывбросы	0,08
Электротехническая промышленность		
Производство ртутных ламп	Пылевывбросы	12
Исследовательский и проектный 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 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
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
Фоновое содержание в почвах		0,06
Кларк земной коры		0,08
ПДК в почвах		2,1

Отражением интенсивной поставки ртути с твердыми частицами в атмосферу является формирование в пределах городов интенсивных ртутных аномалий в пыли, осажженной снегом, в почвах, в атмосферных аэрозолях [5; 23; 27; 34]. Например, высокие концентрации ртути в аэрозоля отмечались вблизи заводов по производству цветных металлов в г. Владикавказе ( $K_C$  относительно фона превышали 100), в г. Дзержинске (Московская область) в районе предприятий теплоэнергетики ( $K_C$  50-100), в г. Воскресенске (Московская область) близ завода минеральных удобрений ( $K_C$  10-50). В районе наиболее интенсивного автотранспортного движения уровни содержания ртути в аэрозольных частицах могут превышать фоновый уровень ее в атмосфере в 10-50 раз. Так, в центре Москвы концентрации ртути в аэрозолях стабильно превышают фоновые уровни. Повышенными концентрациями аэрозольной ртути отличаются территории, прилегающие (50-200 м) к машиностроительным заводам [5]. Показательны данные Ю. Пачины, рассчитавшего эмиссию ртути для европейских стран (табл. 12). Как видим, существенная доля ее эмиссии связана с твердыми частицами.

Таблица 12. Антропогенная эмиссия ртути и ее основных форм (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
ГДР	203	99	28	330
Дания	2,1	1,9	0,8	4,8
Нидерланды	3	3,8	1,4	8,2
Норвегия	1,4	0,4	0,2	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

### Заключение

Пыль, образующаяся на промышленных предприятиях в ходе технологических процессов, в большинстве случаев характеризуется присутствием тех или иных количеств ртути. Наиболее «загрязнена» этим металлом пыль заводов, которые используют его в производственных операциях. Концентрирование ртути в пылевых выбросах многих предприятий может быть обусловлено вторичными источниками (вышедшими из строя ртутными лампами, приборами и т. п.) или присутствием ее в виде примеси в составе сырья, различных материалов и топлива. Производственная среда большинства обследованных предприятий отличается присутствием пыли, обогащенной ртутью.

При разработке предельно допустимых выбросов, обосновании санитарно-защитных зон и при разработке санитарно-гигиенических мероприятий необходимо учитывать вероятность присутствия в пылевых выбросах и в рабочих помещениях токсичной ртути. В соответствующей статистической отчетности на всех предприятиях должно учитываться ее реальное присутствие в составе пылевых выбросов. В свою очередь, уловленную очистными установками пыль, обогащенная ртутью, должна утилизироваться.

Правильно организованный учет, контроль и своевременная утилизация вышедших из строя ртутьсодержащих изделий и приборов позволят существенно снизить загрязнение производственной среды ртутью на предприятиях, не использующих ртуть в технологических процессах. На заводах, отличающихся повышенными концентрациями ртути в пылесметах и вентиляционной пыли, необходимо проведение специальных исследований и демеркуризационных мероприятий в рабочих цехах и служебных помещениях. Аналогичные работы должны быть выполнены в жилых помещениях, где проживают работники таких заводов.

### Литература

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.



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.

7.

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.

11.

12.

13.

14.

15.

16.

17.

18.

19.

20.

21.

22.

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

24.

25.

26.

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 пром. 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. Сб. мат-лов науч.- техн. конф. - 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. Мат-лы междунар. семинара по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и использованию справочного руководства ЕМЕП/CORINAIR (Минск-Раубичи, Республика Беларусь, 1-2 октября 1997). - 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 пром. экология, 2000, № 8, с. 24-27.
- 38.
- 39.
40. Billings C.E., Matson W.R. Mercury emission from coal combustion // Science, 1972, 176, p. 1232-1233.
- 41.
- 42.
- 43.
- 44.
- 45.
- 46.
- 47.
- 48.
- 49.
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: Selected Presentations of the 2<sup>nd</sup> Russian School of Thought "Geochemical Ecology and the Biogeochemical Study of Taxons of the Biosphere", January 25-29, 1999, Moscow. – 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.