

УДК 504.06

А.Г. Кочарян, И.П. Лебедева

Институт водных проблем РАН (г. Москва)

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РТУТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В УРБАНИЗИРОВАННЫХ РАЙОНАХ

Приведены основные антропогенные источники поступления ртути и ряда металлов в окружающую среду на урбанизированных территориях. Представлены данные по поступлению этих загрязняющих веществ от ряда производств, бытового мусора и мусоросжигательных заводов, по сбросу ртути со сточными водами некоторых городов. Отмечено отсутствие в РФ механизма утилизации ртутьсодержащих устройств у населения.

Ключевые слова: ртутное загрязнение, пары ртути, урбанизированный район, промышленные отходы, свалка, мусоросжигательные заводы, ртутный термометр, газоразрядные ртутные лампы.

Существуют две группы источников поступления ртути в окружающую среду: природные и антропогенные.

К природным источникам относятся извержения вулканов, поступления из разломов и гидротерм суши и океана, ветровая и водная эрозия почв, испарения с поверхности почв и растений. По некоторым оценкам глобальное поступление ртути в атмосферу от природных источников составляет $0,8-170 \cdot 10^3$ т/год, а от антропогенных источников – $5-10 \cdot 10^3$ т/год. Несмотря на отличие оценок, связанное с различными методами расчета, эти данные свидетельствуют о сопоставимости масштабов природного и антропогенного поступления ртути в атмосферу.

Основными путями поступления ртути в окружающую среду являются:

- 1) выбросы в атмосферу и перенос воздушными потоками с последующим выпадением на дневную поверхность (почва, растительность, вода);

- 2) перенос с жидким и твердым поверхностным стоком в водотоки;
- 3) инфильтрация с поверхности в подземные воды и водотоки;
- 4) вынос с поверхностным и подземным стоком со свалок твердых отходов, дефляция;
- 5) внесение в почву с удобрениями.

Города и промышленные центры являются мощными источниками поступления ртути в окружающую среду. В городах наблюдается увеличение количества ртути, переносимой с аэрозолями и атмосферной пылью. В урбанизированных районах антропогенными источниками ртути являются промышленные отходы металлургических, машиностроительных, металлообрабатывающих, электротехнических, химических предприятий, энергетика, транспорт, полигоны и свалки, места добычи полезных ископаемых, мусоросжигательные заводы, хлорно-щелочные заводы, городские и промышленные сточные воды и их осадки. Характерная черта этих отходов – полиэлементность, высокие концентрации ртути и всех ингредиентов, высокая вариабельность, токсичность. Уровни концентрации элементов и, в частности, ртути в десятки и сотни раз превышают их кларковые концентрации.

В доменном производстве на 1 т выплавленного чугуна расходуется 39,864 мг ртути, 99 % которой потом возгоняется и эмитируется в атмосферу. Выплавка миллионов тонн чугуна приводит к огромным выносам паров ртути в окружающую среду.

Типичным примером влияния промышленного предприятия на воздушную и водную среду является ртутное загрязнение этих сред в результате деятельности химического комбината «Усольхимпром», где использовался ртутный электролиз при производстве каустической соды. Внутри и снаружи бывшего цеха ртутного электролиза сохраняются высокие концентрации ртути в воздухе (до 1000 ПДК). Наблюдаются повышенные концентрации в почвах и атмосферных выпадениях: в снеговой воде, твердом остатке снега, дождевых водах средняя величина выпадения составляет 3,54 г/км² [1, 2]. В хлорно-щелочном производстве на 1 т хлора в атмосферу выбрасывается 10 г ртути, а в водоем – 1 г.

Если говорить об отдельных промышленных предприятиях, то практически во всех ореолах рассеяния, их окружающих, находятся ртуть, олово, цинк, кобальт, хром, никель, медь.

Но количественные соотношения между элементами резко различны, что отражает специфику предприятия и его индивидуальные особенности.

Масса атмосферного выпадения элементов в урбанизированных зонах равна в среднем 380 кг/км^2 в сутки, это в 33 раза больше, чем в фоновых ландшафтах. При этом материал золы электростанций составляет около 70 % от общей массы выпадений [3].

Среди твердых отходов наиболее мощным поставщиком таких элементов, как ртуть, свинец, цинк, серебро, медь, является бытовой мусор. В золе и шлаке московских мусоросжигательных заводов при сжигании бытового мусора содержание ртути в 15 раз превышает его кларковое содержание, серебра – в 36 раз, свинца – в 199 раз, кадмия – в 172 раза, цинка – в 144 раза, меди – в 85 раз. А в шлаках при сжигании угля ртуть доминирует, степень ее концентрации по сравнению с кларком – 10. Сколько ртути и других элементов при сжигании выброшено в воздух практически неизвестно, так как официальные разрешения на выброс загрязняющих веществ сознательно многократно занижаются [3].

Неслучайно весьма существенным источником загрязнения ртутью является бытовой мусор и мусоросжигательные заводы. Хотя в нормативных документах приводится состав мусора, не содержащий ртути, там не учитываются выброшенные электронные приборы, батарейки, разбитые люминесцентные лампы. По данным, приведенным в работе [4], на свалки поступает ежегодно около 10 т/год ртути. В перспективе рост поступлений ртути превысит 10 т/год. Около 9 млн разбитых ртутных термометров, вывозимых на свалки в России, дает поступление в окружающую среду 18 т ртути ежегодно, из которых только 1 т идет на получение вторичной ртути на специальных предприятиях.

Одним из основных источников поступления ртути являются сточные воды городов и поверхностный неконтролируемый сток с городских территорий. Например, со сточными водами г. Москвы сбрасывалось в 2001–2005 гг. от 2 до 10 кг ртути в год. Ливневые городские стоки могут содержать больше ртути, чем промышленные стоки. Так, в г. Казани сточные ливневые воды в 2003 и 2004 гг. содержали по 44 кг ртути [5]. При попадании ртути со сточными водами в водные объекты она аккумулируется на взвеси и в донных отложениях, из которых переходит в водную толщу и по пищевым цепям передается рыбам.

В таблице представлен комплекс элементов, накапливающихся в осадках сточных вод городов Московской области, что свидетельствует об эффективности очистных сооружений, задерживающих загрязняющие вещества [6]. При отсутствии очистных сооружений эти элементы поступили бы в местную речную сеть и донные отложения. Обращают на себя внимание высокие цифры, характеризующие содержание ртути в осадках сточных вод г. Клина. В этом городе находится ОАО «Термопробор» – единственное в России предприятие по производству стеклянных жидкостных термометров, в том числе ртутных, промышленного и медицинского назначения.

Содержание ртути в осадках сточных вод городов Московской области [6]

Город	Ртуть, мг/кг	Kс*	Комплекс наиболее интенсивно накапливающихся в осадках сточных вод элементов по сравнению с фоновыми уровнями в речных отложениях
Клин	220	22000	Hg-Ag-Bi-Pb-Zn-Sr-Sn-Sb-Cu-Cd-Cr-W-F-As-B-Mo
Коломна	10	1000	Hg-Cd-Ag-Bi-Zn-Cr-Sr-W-Sn-Cu-Ni-Pb-Mo-F
Апрелевка	3,6	360	Hg-Ag-Bi-Ni-Cu-Cr-Zn-Sr-Cd-F-Sn-Pb-As
Загорск	2,8	280	Hg-Ag-Cu-Cd-Bi-Sn-Zn-Cr-Pb-W-Ni-Sr-As-La-Ge-Ce-F-Mo
Орехово-Зуево	2,4	240	Cd-Hg-Cu-Ag-Cr-Bi-Zn-Sn-Ni-Sr-Pb-F-Mo-Co
Москва, Люберцы	1,8	180	Ag-Hg-Cd-Bi-Mo-W-Cu-Cr-Sn-Pb-Sr-Zn-Ni-F
Москва, Курьяново	1,3	133	Hg-Ag-Cd-Bi-Zn-Mo-Cr-W-Cu-Ni-Pb-Sn-Sr-F
Бронницы	0,8	80	Ag-Bi-Hg-Cu-W-Mo-Cr-Pb-Sn
Серпухов	0,4	40	Cr-Ag-Cd-Zn-Bi-Hg-Cu-Ba-Sn-W-Ni-Sr-Pb-F-Mo
Воскресенск	0,3	30	Hg-Sr-Ag-Cu-Bi-Cd-Zn-F-Cr-Ni-Mo
Домодедово	0,2	20	Cd-Zn-Ag-Sn-Bi-Cu-Cr-Hg-W-Sr-Pb-In-Mo-F-Sb-Ni
Павловский Посад	0,2	20	Ag-Sn-Zn-Ni-Cu-Hg-Mo-W-Bi-Cr-Sr-Mn-Co-Pb-F
Подольск	0,2	20	Cd-Ag-Pb-Sn-Cu-In-Ni-Hg-Bi-Cr-Zn-W-Sb-Sr-Be-Mo
Шатура	0,2	20	Hg-Ag-Sr-Bi-Zn
Электросталь	0,1	10	Ag-W-Ni-Sr-Cd-Mo-Zn-Cr-Hg-Bi-Cu-Sn-Co
Истра	0,1	10	Ag-Cd-Cu-Sn-Bi-Zn-Sr-Cr-Hg-Pb
Наро-Фоминск	0,1	10	Zn-Ag-Cu-Cd-Hg-Sr-Bi-Cr-Mo-Pb-Ni-Sn
Раменское	0,03	3	Cd-Ag-Cu-Sn-Zn-Cr-Bi-W-Ni-Sr-Pb-Mo-Hg-F

*Kс – степень увеличения содержания ртути в осадках сточных вод относительно фона в речных отложениях 0,01 мг/кг.

Среди вредных химических веществ, загрязняющих непроизводственные помещения, особое место принадлежит ртути. В жилых помещениях основные пути воздействия ртути на человека связаны с воздухом (дыхание), с пищевыми продуктами, питьевой водой. Высокая опасность загрязнения помещений ртутью обуславливается ее своеобразными физико-химическими свойствами. Ртуть испаряется при комнатной температуре с довольно высокой скоростью, которая, с ростом температуры, увеличивается. Это приводит к созданию опасной для живых организмов атмосферы. В закрытых, мало проветриваемых помещениях создаются очень высокие концентрации паров ртути в воздухе. Ртуть легко накапливается из воздуха отделочными и декоративными материалами: тканями, ковровыми и деревянными изделиями и другими объектами. В воздухе ртуть способна находиться не только в форме ее паров, но и в виде летучих органических соединений, а также в составе атмосферной пыли и аэрозолей твердых частиц.

Сказанное во многом и определяет актуальность проблемы ртутного загрязнения, с которым люди сталкиваются не на улице или заводе, а непосредственно в своем доме, в жилых помещениях. Особенно опасно такое загрязнение для групп населения, в силу своих физиологических особенностей проводящих в помещениях (домах, школах, детских садах, офисах и т.д.) много времени. Это, прежде всего, дети, женщины (беременные, кормящие матери, домохозяйки), престарелые, больные, а также управленцы, административные работники, конторские служащие, учителя, врачи. Интенсивность загрязнения ртутью жилых помещений во многом определяется качеством наружного воздуха и состоянием почв, часто загрязненных промышленными выбросами и отходами. Ртуть также попадает в жилые и другие непроизводственные помещения с уличной пылью и почвенными частицами. Важную, а иногда и главную роль в загрязнении помещений ртутью играет неосторожное или неправильное обращение с ртутьсодержащими приборами и изделиями (термометрами, тонометрами, люминесцентными лампами, электрозвонками, гальваническими элементами и др.). Конечно, основной источник ртутного загрязнения в быту – медицинский термометр. При нарушении его целостности, особенно если при этом ртуть разлетелась на мелкие капли, в помещении в течение нескольких секунд концентрация паров ртути в воздухе усугубляется на уровне 10–20 ПДК.

Практически в любом городе в среднем не менее 20 % зданий школьных и дошкольных учреждений характеризуются наличием локальных источников загрязнения внутреннего воздуха ртутью. В крупных промышленных городах ртутное загрязнение выявляется в 30–50 % школ и в 25–30 % детских садов. Ртуть обнаруживается в воздухе жилых помещений, офисов, магазинов и т.п. Наличие паров ртути и ее источников особенно типично для старого жилого фонда, для бывших и действующих больниц, поликлиник и других организаций, особенно находящихся в бывших производственных зданиях.

Одним из постоянных источников поступления ртути в окружающую среду являются газоразрядные лампы, получившие механические повреждения в процессе эксплуатации или не утилизированные должным образом. Вышедшие из строя газоразрядные лампы являются не только потенциальным источником поступления токсичной ртути, но и источником утечки других вредных веществ в окружающую среду, что определяет необходимость их селективного сбора и переработки. По существующим оценкам в России около 100 млн ламп ежегодно выходит из строя, большая часть которых вывозится на свалку, что приводит к поступлению в окружающую среду примерно 10 т ртути ежегодно. В перспективе этот источник загрязнения может многократно возрасти в связи с массовой заменой ламп накаливания на энергосберегающие ртутные лампы. Каждая разбитая лампа способна отравить 12 000 м³ воздуха, что примерно соответствует общему объему помещений современной школы или торгового центра.

В Москве ежегодно образуется около 10 млн отработанных люминесцентных ламп, в сумме содержащих ориентировочно до 1 т ртути, а с учетом других подобных отходов (бактерицидные лампы, батарейки, медицинские градусники и т.п.) среднее значение поступающей в среду ртути достигает 10 т/год. Эти цифры ориентировочные и требуют уточнения. Городские бытовые отходы, вывозимые на свалки или сжигаемые на специальных установках, отличаются особенно высокими содержаниями ртути.

В 2008 г. в стране было продано 50 млн «ртутных» энергосберегающих ламп. В 2009 г. – 60 млн. В связи с массовой пропагандой применения энергосберегающих ламп ожидается резкий рост продаж, что только усугубит экологическую проблему.

Влияние на загрязнение окружающей среды оказывает не только само содержание ртути в лампе и ее количество, но и химический состав в горелке лампы. В общем случае следует различать два основных способа изготовления газоразрядных ламп: это лампы, в которые вводится металлическая (жидкая) ртуть, и лампы, в которых жидкая ртуть заменяется амальгамой. Ртуть – достаточно активный химический элемент, она способна растворять многие металлы, образуя при этом амальгамы (меркурид титана), поэтому наименьшую активность при самом маленьком физическом содержании ртуть имеет в лампах, в которых ртуть частично соединяется с включенными в состав газа редкоземельными металлами.

На электроламповых заводах, использующих устаревшее оборудование, в процессе вакуумной обработки ламп в подавляющее их количество вводят жидкую (металлическую) ртуть. Данная технология изготовления ламп не позволяет дозировать малые количества ртути с большой точностью, что обуславливает гораздо большее содержание ртути в газоразрядных лампах вышеуказанных заводов, по сравнению с более качественными зарубежными аналогами.

Более низкое содержание ртути в качественных газоразрядных лампах обусловлено не только современными технологиями изготовления, но и более жесткими экологическими нормативами, действующими в странах Европы и Северной Америки. Например, в европейских странах проблема высокого содержания ртути в газоразрядных лампах была регламентирована в Перечне Директивы Совета ЕС «О токсичных и опасных отходах» (78/319/ЕЭС от 10 марта 1978 г.).

Комплексное загрязнение окружающей среды часто происходит от не утилизированных должным образом газоразрядных ламп, как сказано выше, но это только один из действующих факторов. Самым же основным фактором, влияющим на загрязнение окружающей среды, являются сроки службы газоразрядных ламп. Короткие реальные сроки службы ламп обуславливают их частую замену, что негативно сказывается на экологической обстановке и увеличивает количество сгоревших ламп на складах предприятий.

Крупные города с высокой концентрацией населения являются источниками и одновременно реципиентами ртути. Основной способ ликвидации ртутных загрязнений – предотвра-

щение их попадания в окружающую среду. Борьбу с рассеянием ртути в окружающей среде следует вести в двух направлениях. В Московской области существует 93 официальных полигона, куда вывозится порядка 5 млн т ТБО. Они оборудованы средствами, защищающими окружающую среду от поступления загрязняющих веществ. В то же время в Московской области насчитывается более 1,5 тысяч несанкционированных свалок бытового мусора. Их особенностью является наличие в свалочном фильтрате большого количества металлов, в том числе и ртути (Pb, Hg, Cd, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sr, B, Fe). Несанкционированные или плохо оборудованные свалки представляют собой угрозу для окружающей среды. Отравляющие вещества со свалок могут проникать в грунтовые воды, а также естественным водоотокм загрязнять реки и другие водоемы.

Известные типоморфные элементы свалок – Fe, Mn, Al, B, Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Cd, Cr, As, Se, Be. В грунтовых водах старых свалок Германии средние содержания ртути невысоки – 0,1 мкг/л, а максимальные – 3,4 мкг/л. Остальные халькофильные элементы содержатся в значительно больших концентрациях (ртуть на последнем месте в длинном списке) [7]. В водах наиболее изученных свалок г. Уфы отмечалась максимальная концентрация ртути в 2 мкг/л [8]. Несмотря на то, что в свалках находится много органических соединений, метилирование ртути не замечено. Безусловно, вопрос этот требует серьезного дополнительного изучения. При этом необходимо исследовать не только метилирование ртути, но и кадмия, свинца. Кадмий, являющийся наиболее распространенным элементом свалок (в Германии отмечены средние (40 мкг/л) и максимальные (13 000 мкг/л) концентрации), имеет еще большую способность формировать метилированные формы, чем ртуть.

Важнейшей характеристикой влияния свалки на геохимико-экологическое состояние среды является время ее существования. Наибольшее влияние на состав подземных вод свалки оказывают после 3–4 лет эксплуатации и в первые 15–20 лет после закрытия. В первые годы возрастают концентрации железа и марганца, в дальнейшем происходит наиболее значительное увеличение концентрации многих химических элементов и органического вещества, по прошествии десятков лет происходит затухание влияния свалки на среду.

При обустройстве полигонов и свалок по захоронению бытовых и промышленных отходов с исключительной эффективностью может быть применен препарат «Гумигель» [9], основой которого являются гидрофобные фракции гуминовых кислот. Особую опасность представляет фильтрат, т.е. вода, проходящая через тело свалки при дожде, таянии снегов и т.д., насыщенная вредными токсичными, канцерогенными, мутагенными и другими примесями. Именно фильтратом загрязняющие примеси разносятся на десятки километров от свалки, отравляя почву, поверхностные и подземные воды. Обработка тела свалки «Гумигелем» путем полива или нанесения поверхностного слоя приводит к необратимому связыванию тяжелых металлов, адсорбции и абсорбции неорганических и органических экотоксикантов, в результате чего прекращается или значительно снижается вынос загрязняющих веществ и соединений из тела свалки. В случаях полигонов с большим истечением фильтрата производится его очистка с применением «Гумигеля», при этом очищенная вода выпускается в естественную гидрографическую сеть, а осадок возвращается в тело свалки.

Также обработка механически обезвоженных осадков городских сточных вод (ОСВ) активированными гуминовыми кислотами обеспечивает связывание тяжелых металлов и деструкцию органических экотоксикантов, стабилизирует осадки и формирует преимущественно процессы их гумификации, а не минерализации.

Учитывая исключительную опасность свалочного фильтрата, необходимо создать дешевые искусственные геохимические барьеры, способные перехватывать потоки химических элементов и органических соединений и переводить их в форму нерастворимых в воде соединений.

Другое направление – недопущение вывоза на свалки ртутьсодержащих отходов. Пример г. Могилева в Белоруссии, где организован только один бесплатный пункт приема у населения ламп, содержащих ртуть, показывает неэффективность принятых мер, так как у населения нет материальной заинтересованности в сдаче таких ламп, а в СМИ отсутствует информация о необходимости и возможности сдачи отработанных ламп. В европейских странах упор делается на добровольную сдачу неповрежденных ртутьсодержащих отходов в специальные коммунальные пункты сбора в максимально комфортных условиях и проведение разъяснительной работы с населением.

Выводы:

1. Антропогенное химическое воздействие на окружающую среду, проявленное в виде выбросов в атмосферу, сбросов сточных вод, складировании твердых отходов на промплощадках, полигонах, свалках, является мощным полиэлементным источником ее загрязнения, специфичным для отдельных конкретных источников воздействия. Уровень современного поступления абсолютных масс химических элементов в промышленно развитых районах многократно выше, чем в фоновых районах.

2. Среди источников попадания ртути в окружающую среду основными являются антропогенные. Ведущее место в городах занимает промышленное производство и мусоросжигательные заводы. Около 50 % ртути находится на городских промплощадках, остальные – на полигонах, санкционированных и несанкционированных свалках. Основные механизмы выноса элементов в окружающую среду – выбросы в воздух, сбросы в водные объекты, вывоз на полигоны и свалки, применение удобрений. Ливневые городские стоки содержат больше ртути, чем промышленные неочищенные стоки. Во всех техногенных ореолах вокруг города и в городской пыли присутствует ртуть в весьма заметных количествах.

3. В связи с ростом производства и продаж люминесцентных ламп свалки начинают играть особо негативную роль в проблеме ртутного загрязнения. Уже в настоящее время они являются весьма существенным источником ртутного загрязнения поверхностных и подземных вод. На свалках складываются благоприятные условия для быстрой миграции ртути и других опасных компонентов во все среды – воздух, воду, почву.

4. В настоящее время в России не существует никаких механизмов сбора отработанных люминесцентных ламп, электронных приборов и батареек у населения, что чревато катастрофическими последствиями.

5. Антропогенное геохимическое воздействие приводит к образованию локальных и региональных геохимических аномалий, состоящих из взаимоувязанных в пространстве ореолов и потоков рассеяния, образующих на урбанизированных территориях весьма сложную геохимическую структуру. Они характеризуются высоким уровнем концентрации ртути и многих сопутствующих химических элементов. Эти ореолы являются также весьма серьезным источником загрязнения воздуха, почв, вод, донных отложений и растительности.

6. Ртуть во всех перечисленных отходах всегда встречается в ассоциации с халькофильными элементами, что существенно увеличивает общий токсический эффект.

7. Необходимо серьезное экспериментальное изучение процессов миграции ртути, кадмия, свинца на свалках в условиях природы. Подавляющая часть публикаций по ртутной проблеме в окружающей среде отражает зарубежный опыт. В России почти не ведутся натурные и экспериментальные исследования ни в почвах, ни в водных объектах, дренирующих свалки.

8. Необходимо создание дешевых искусственных геохимических барьеров, перехватывающих потоки химических элементов и недопускающих их поступление в окружающую среду.

9. Требуется создание материальной заинтересованности населения при сдаче люминесцентных ламп, потерявших потребительские свойства.

Библиографический список

1. Гребенщикова В.И., Пастухова М.В., Акимова М.С. Миграция ртути с атмосферными выпадениями в Прибайкалье // Геохимия биосферы: докл. Междунар. науч. конф., Москва, 15–18 ноября 2006 г. – М., 2006. – С. 104–108.
2. Королева Г.П., Андрулайтис Л.Д. Ртуть в атмосферных осадках городов Приангарья и оз. Байкал // Геохимия биосферы: докл. Междунар. науч. конф., Москва, 15–18 ноября 2006 г. – М., 2006. – С. 119–123.
3. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
4. Бессонов В.В., Янин Е.П. Ртутные термометры в России как источники поступления ртути в окружающую среду // Геохимия биосферы: докл. Междунар. науч. конф., Москва, 15–18 ноября 2006 г. – М., 2006. – С. 70–72.
5. Материалы отчетности 2ТП-водхоз / ОАО «ВодНИИинформпроект». – М., 2007.
6. Ачкасов А.И. Осадки сточных вод – источник химических элементов // Экология промышленного производства. – 2004. – № 4. – С. 46–53.
7. Zur Bewertung Hydrogeologischer Barrieren / Midle [et al.] // Welche Möglichkeiten bietet der GZosrant Berlin. B. Wirtschtlis Symp. – Berlin, 1990. – 275 p.
8. Абдрахманов Р.Ф. Геохимия экотоксикантов в подземных водах урбанизированных территорий // Геохимия. – 1996. – № 6. – С. 630–636.
9. Материалы ООО «Агросинтез» [Электронный ресурс]. – URL: www.agrosintez.ru

Получено 16.12.11