

Косорукова Н.В., Янин Е.П. Проблемы и способы демеркуризации городских помещений // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2006, № 1, с. 2–23.

В условиях города человек подвергается воздействию разных факторов, среди которых важную роль играют санитарно-гигиенические условия различных помещений, где горожане проводят большую часть своей жизни. Проблема «экологически чистого помещения» справедливо рассматривается сейчас в качестве важнейшей для современного города [10, 37, 40]. Среди многочисленной группы токсичных веществ особое место занимает ртуть, обладающая (с эколого-гигиенической точки зрения) уникальными свойствами, обусловленными ее повышенной возможностью распределения в окружающей среде, разнообразием форм нахождения и спецификой их трансформации в природных условиях, разносторонним спектром негативных воздействий на все виды живых организмов даже при относительно малых дозах экспозиции.

Практически в любом промышленном городе существуют определенные и нередко достаточно многочисленные группы населения, постоянно или периодически испытывающие негативное воздействие ртути, в том числе, в связи с загрязнением этим металлом жилых и общественных помещений, во многих случаях не связанного напрямую с влиянием промышленных источников ее поступления в городскую среду. В частности, в городах распространено так называемое остаточное ртутное загрязнение жилых, общественных и коммерческих зданий и помещений, особая опасность которого заключается в том, что оно не фиксируется визуально, поскольку источники формирования его в большинстве случаев имеют скрытый характер. Дело в том, что в нормальных условиях пары ртути, присутствующие в воздухе, не обладают ни цветом, ни запахом и не оказывают немедленного раздражающего действия на органы дыхания, зрения, кожный покров и т. д. Именно поэтому для обнаружения такого вида ртутного загрязнения требуется проведение специальных исследований с использованием современных приборов, а для его ликвидации – особых мероприятий, получивших название «демеркуризация» (т. е. удаление ртути, очистка от ртути, «обезртутчивание»).

Демеркуризация представляет собой комплекс мероприятий по очистке от ртутного загрязнения различных объектов окружающей среды, включающий выявление источников, оценку интенсивности и масштабов ртутного загрязнения, проведение необходимой обработки зараженных ртутью объектов, сбор и обезвреживание образующихся при этом отходов, выполнение необходимых восстановительных, профилактических и контрольно-заверочных работ.

В предлагаемой работе рассматриваются основные проблемы и способы демеркуризации различных объектов городской среды (в первую очередь, помещений), загрязнение ртутью которых в настоящее время напрямую не связано с влиянием промышленного производства.

Опасность и особенности ртутного загрязнения помещений

С точки зрения патологии человека, ртуть отличается чрезвычайно широким спектром и большим разнообразием проявлений токсического действия в зависимости от свойств веществ, в виде которых она поступает в организм (например, пары металлической ртути, неорганические или органические соединения), путей поступления и дозы [2-4, 14, 24, 25, 34, 35]. Ртуть оказывает негативное влияние на взрослых и на детей, на мужчин и на женщин. В общем случае основные пути воздействия ртути на человека связаны с воздухом (при дыхании), с пищевыми продуктами, питьевой водой. Возможны и другие, случайные, но нередкие в обыденной жизни пути воздействия: через кожу, при купании в загрязненном водоеме, при поедании детьми загрязненной почвы, штукатурки и т. п.

Ртуть принадлежит к числу тиоловых ядов, блокирующих сульфгидрильные группы белковых соединений и этим нарушающих белковый обмен и ферментативную деятельность организма. Особенно сильно она поражает нервную и выделительную системы. При воздействии ртути возможны острые (проявляются быстро и резко, обычно при больших дозах воздействия) и хронические (влияние малых доз ртути в течение относительно длительного времени) отравления. Известно большое количество ртутьсодержащих органических соединений, в которых атомы металлы связаны с атомами углерода. Многие из таких соединений, особенно метилртуть, очень токсичны для живых организмов.

Распределение ртути в организме человека зависит от ее состояния: элементарной ртути Hg^0 (пары ртути), неорганического иона Hg^{2+} , иона

метилртути $\text{CH}_3\text{-Hg}^+$. Все они имеют высокое сродство по отношению к клеткам почек, воздействуя на них. Поступающая ингаляционно (при дыхании) Hg^0 и принимаемая перорально (например, с пищей или водой) $\text{CH}_3\text{-Hg}^+$ накапливаются в центральной нервной системе, сильнее, чем Hg^{2+} . Пары и неорганические соединения ртути вызывают контактный дерматит. При вдыхании ртутные пары поглощаются и накапливаются в мозге и почках. В организме человека задерживаются примерно 80% вдыхаемых паров ртути. В живом организме элементарная ртуть превращается в ион, который соединяется с молекулами белков. Есть сведения, что пары ртути способны проникать в организм человека через кожу. У беременных женщин пары ртути могут также проходить через плацентарный барьер, воздействуя таким образом на развивающийся плод. Анализ известных последствий ртутных отравлений в Японии и Ираке, приведших к массовой гибели людей, показал, что у матерей, перенесших лишь легкое отравление метилртутью, рождались дети с тяжелым церебральным параличом, т. е. внутриутробный период представляет стадию жизненного цикла, очень чувствительную к воздействию ртути.

К настоящему времени установлено, что наряду с общетоксическим действием (отравлениями) ртуть и ее соединения вызывают гонадотоксический (воздействие на половые железы), эмбриотоксический (воздействие на зародыши), тератогенный (пороки развития и уродства) и мутагенный (возникновение наследственных изменений) эффекты. Существуют предположения о возможной канцерогенности неорганической ртути.

Обычно в нативных городских условиях наиболее важное, часто основное, воздействие ртути на человека связано с влиянием ее паров, нередко проявляющееся в так называемом хроническом ртутном отравлении (хроническом меркуриализме), которое приводит к нарушению нервной системы и характеризуется наличием астеновегетативного синдрома с отчетливым ртутным тремором (дрожанием рук, языка, век, даже ног и всего тела), неустойчивым пульсом, тахикардией, возбужденным состоянием, психическими нарушениями, гингивитом. Развиваются апатия, эмоциональная неустойчивость (ртутная неврастения), головные боли, головокружения, бессонница, возникает состояние повышенной психической возбудимости (ртутный эретизм), нарушается память.

Вдыхание паров ртути при очень сильном воздействии сопровождается симптомами острого бронхита, бронхиолита и пневмонии. Наблюдаются изменения в крови и повышенное выделение ртути с мочой. Чрезвы-

чаинно острое отравление ртутью вызывает разрушение легких. Как правило, отмеченные синдромы и симптомы наблюдаются при воздействии паров ртути при их концентрациях в воздухе более $0,1 \text{ мг/м}^3$. Тем не менее психические расстройства могут возникать и при более низких уровнях. Так, при длительном воздействии относительно низких концентраций паров ртути в воздухе – порядка сотых долей мг/м^3 и ниже (нередко даже на уровне тысячных долей мг/м^3 и ниже) – у людей возможно развитие так называемого микромеркуриализма. Как правило, его проявления вначале выражаются в снижении работоспособности, быстрой утомляемости, повышенной возбудимости, потери аппетита. Затем указанные явления усиливаются, нарушается память, появляются беспокойство и неуверенность в себе, раздражительность, головные боли и др.

В России ПДК (предельно допустимая концентрация) паров ртути в атмосферном воздухе населенных пунктов составляет $0,0003 \text{ мг/м}^3$, в воздухе рабочей зоны – $0,01 \text{ мг/м}^3$ (максимально разовая) и $0,005 \text{ мг/м}^3$ (среднесменная). Типичное фоновое (природное) содержание паров ртути в атмосферном воздухе находится на уровне $0,00001\text{--}0,000015 \text{ мг/м}^3$. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что в городских производственных помещениях, характеризующихся наличием «свежего» или «остаточного» ртутного загрязнения, напрямую не связанного с промышленным производством, уровни паров ртути в воздухе очень часто достигают величин, превышающих не только фоновые параметры, но и гигиенические нормативы (табл. 1).

Высокая опасность загрязнения помещений ртутью во многом также обуславливается ее своеобразными физико-химическими свойствами. Как известно, ртуть представляет собой блестящий, серебристо-белый тяжелый жидкий металл, который даже в обычных условиях обладает повышенным давлением насыщенных паров и испаряется с довольно высокой скоростью, которая с ростом температуры увеличивается. Это приводит к формированию чрезвычайно опасной для живых организмов ртутной атмосферы. Например, при 24°C атмосферный воздух, насыщенный парами ртути, может содержать их в количестве около 18 мг/м^3 , что почти в 1800 раз превышает ПДК этого металла в воздухе рабочей зоны и в 60000 раз ПДК в атмосферном воздухе населенных пунктов. Следует отметить, что 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. Ртуть в высоких концентрациях присутствует в пылевых выбросах различных промышленных предприятий [51].

Таблица 1. Уровни загрязнения парами ртути воздуха помещений по данным многолетних наблюдений [33]

Характеристика уровня загрязнения	Источники паров ртути в помещениях	Концентрации паров ртути, мг/м ³ *
Рядовые значения	Фоновые уровни	< 0,0001
Незначительное локальное загрязнение в помещении с первичным источником паров ртути	Скрытые источники малой интенсивности (амальгамы, единичные капли металлической ртути)	0,0002-0,005
Незначительное вторичное загрязнение	Скрытые первичные источники малой интенсивности	0,0001-0,0004
Незначительное распределенное загрязнение	Остаточное загрязнение; загрязнение в результате распыления загрязненного ртутью грунта	0,0001-0,0004
Интенсивное вторичное загрязнение	Конвективный поток от сильного источника (лестницы, коридоры и т. д.)	0,0003-0,01
Интенсивное загрязнение вблизи сильного источника	Разливы металлической ртути, множественные капельные источники	> 0,01

* При температуре воздуха 18-24⁰С.

Ртуть способна растворять многие металлы, образуя при этом амальгамы, которые не отличаются от обычных сплавов, хотя при избытке ртути представляют собой полужидкие смеси. Амальгамированию подвержены металлы, смачиваемые ртутью. (Не амальгамируется сталь, легированная углеродом, кремнием, хромом, никелем, молибденом и ниобием.) Это свойство (вкпе с другими) во многом определяет повышенную агрессивность ртути по отношению ко многим конструкционным материалам, что приводит к их коррозии и разрушению. Например, в свое время довольно актуальной была проблема ртутного загрязнения самолетов и других летательных аппаратов, в конструкции которых по тем или иным причинам попадала ртуть, вызывающая жидкометаллическое охрупчивание алюминиевых сплавов [13]. Самолеты направлялись в капитальный ремонт и даже списывались с эксплуатации.

Ртуть способна испаряться через слои воды и других жидкостей. Она также растворяется в органических растворителях и, в определенной степени, даже в воде. Ртуть относительно легко проникает сквозь многие строительные материалы (различные бетоны и растворы, строительные

плитки, рубероид, толь, ПВХ-пластикат, линолиум, мастики, лакокрасочные покрытия и др.). Благодаря высокой подвижности и большому поверхностному натяжению металлическая ртуть при проливе разбивается на мелкие капельки и рассеивается по различным поверхностям, легко проникает в различные трещины, подпольное пространство и т. д., увеличивая тем самым площадь загрязнения и последующего потенциального испарения. Капли ртути, особенно покрытые пылью, могут длительное время оставаться в различных щелях, неровностях и т. п. В свою очередь, ртутные пары активно сорбируются различными материалами (особенно пористыми, включая ткани, дерево, краску, пластмассы, штукатурку), обладая повышенной способностью к последующей десорбции и, соответственно, к вторичному загрязнению воздуха. Значение имеет и тот факт, что ртуть, обладая высоким потенциалом ионизации и высоким положительным окислительным потенциалом, является относительно стойким в химическом отношении элементом, что обуславливает ее способность восстанавливаться до металла из различных соединений. Роль так называемого «депо» ртути (в том числе, сорбированной) как одного из источников вторичного загрязнения различных помещений известна давно. В данном случае, вторичными источниками загрязнения обычно являются различные материалы, загрязненные сорбированной из воздуха ртутью (штукатурка стен и потолка, деревянные конструкции, мебель, оборудование и пр.), так называемая «залежная ртуть» (мелкодисперсная ртуть) и т. д. Остаточное ртутное загрязнение характерно для многих старых строений, которые в свое время использовались в производственных целях, в качестве мастерских, больниц или госпиталей, а сейчас переоборудованы под офисы, банки, торговые учреждения, школы, детские учреждения. Оно также типично для действующих больниц, поликлиник, амбулаторий, медицинских пунктов, научных центров, организаций по ремонту бытовой техники и т. п. В данном случае источниками загрязнения ртутью обычно являются зараженные ей поверхности, разгерметизированные ртутьсодержащие приборы и изделия, различные поверхности, материалы и предметы, депонирующие ртуть, и т. д. Практически всегда в таких ситуациях формируются условия, определяющие вероятность хронического воздействия ртути на людей.

Например, характерный случай, связанный с загрязнением помещений ртутью, произошел в ОАО «Медтехника» (Хабаровский край), где до 1974 г. проводился ремонт ртутьсодержащих приборов, а после 1974 г. их

продажа [55]. Данные приборы хранились на складе. В 1983 г. при похищении неизвестными лицами приборов со склада часть их была разбита, а по всей территории предприятия была разлита ртуть. Это потребовало проведение комплекса демеркуризационных мероприятий, с лабораторным исследованием объектов внешней среды и медицинским осмотром работающих. Результаты лабораторных исследований подтвердили эффективность проведенных мероприятий, ртуть в помещениях обнаружена не была. Однако, судя по всему, не были ликвидированы многие скрытые источники ртути, поскольку в последующие годы в воздухе помещений и в строительных материалах неоднократно фиксировались высокие уровни ртути, неоднократно проводились демеркуризационные мероприятия с лабораторным подтверждением их эффективности. Например, в мае 1997 г. (т. е. после 14 лет со дня разлива ртути) в 12 из 26 помещений предприятия были отмечены концентрации паров ртути, превышающих ПДК. Аналогичные исследования, выполненные в марте 1998 г. (информационный источник ссылается на официальные протоколы санитарно-химических обследований), обнаружили чрезвычайно высокие (в 5,6-10,5 выше ПДК) концентрации ртути в различных местах организации (вблизи деревянного пола на складе, в лаборатории и механическом, в подпольном пространстве приборного цеха). В сентябре 2000 г. ртутотметрические исследования обнаружили еще более высокие концентрации паров ртути (в 20-520 раз выше ПДК) в разных местах предприятия (вблизи пола в приемной директора, в бухгалтерии, актовом зале и т. д.). Медицинский осмотр работников ОАО «Медтехника» установил, что у них имеет место полисистемное заболевание с функциональными нарушениями и с одинаковым набором жалоб: мышечная дистония, кожные проявления в разной степени выраженности, выпадение волос, снижение памяти, нарушение функции щитовидной железы. У женщин разного возраста наблюдались такие аллергические реакции, как отек Квинке, дерматит, крапивница, у двоих – энцефалопатия. Кроме того, все обследованные работники жаловались на головные боли, снижение веса и быструю утомляемость, причем все эти симптомы и явления резко усиливались при нахождении на территории предприятия.

Сказанное, в сущности, и определяет необходимость проведения в городах регулярных, в том числе, профилактических исследований по выявлению загрязненных ртутью помещений и, при необходимости, осущест-

вление специальных демеркуризационных мероприятий, направленных на ликвидацию источников загрязнения и его последствий.

Причины и источники загрязнения помещений ртутью

В общем случае распределение ртути и ее соединений в окружающей среде связано с деятельностью природных и техногенных источников. Существующий в природе глобальный круговорот ртути в большей степени определяется ее поступлением из природных источников. Техногенные источники являются наиболее важными с позиций локального загрязнения среды обитания человека этим токсичным элементом. Однако, как уже отмечалось, загрязнение жилой среды ртутью может быть связано не только с прямым влиянием выбросов промышленных предприятий («ртутных производств»), использующих этот металл или его соединения в своих технологических циклах. Надежно установлено, что ртуть является типоморфным (характерным, постоянно присутствующим) элементом практически любых техногенных геохимических аномалий (зон загрязнения), формирующихся в городах, поскольку поступает в окружающую среду с выбросами, сточными водами и отходами самых разнообразных производств [8, 27, 35, 41-44, 46-51, 53, 56]. Загрязнение объектов городской среды также происходит при нарушении (в бытовых и производственных условиях) правил эксплуатации и хранения ртутных (ртутьсодержащих) приборов, устройств и изделий, в результате небрежного и даже (нередко) злоумышленного (преступного) обращения с металлической ртутью, ртутными соединениями и ртутьсодержащими отходами.

Особое значение проблема ртутного загрязнения имеет для России, где, несмотря на снижение объемов использования ртути в промышленности, накоплены огромные количества ртутьсодержащих отходов, существуют экстремально высокие по интенсивности концентрирования металла и размерам зоны ртутного загрязнения, в обращении находится большое количество ртутных приборов, изделий и устройств [45]. В сущности, в настоящее время в стране сформировался специфический теневой рынок ртути, на котором обращаются тонны (если не десятки тонн) металлической ртути и ее соединений. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что на руках у населения находится значительное количество ртути и ее соединений. Бесконтрольный оборот ртути и ее соединений уже неоднократно приводил к загрязнению жилых, общественных и коммерческих

зданий, а не соблюдение правил безопасной эксплуатации ртутных приборов и обращения с ртутью – к возникновению аварийных ситуаций, нередко с трагическими последствиями.

Для многих городов и поселков России известны многочисленные случаи разлива ртути в самых различных помещениях, что обусловлено не только неправильным обращением с ртутными приборами или незаконным хранением металлической ртути, но и целенаправленными (часто в преступных целях) ее разливами в жилых помещениях, общественных зданиях и коммерческих организациях. Например, в г. Москве до 80% работ подразделений радиационно-химической безопасности МЧС связаны с ликвидацией именно разливов ртути [5]. В г. Санкт-Петербурге в 1992-1998 гг. было зарегистрировано 2176 аварийных случаев, приведших к ртутному загрязнению помещений (в основном муниципальных объектов – школ, детских садов, больниц, квартир, общественных зданий и т. п.) [12]. В средствах массовой информации регулярно сообщается о попытках незаконной продажи металлической ртути в различных регионах страны, причем количество изъятого при этом правоохранительными органами металла изменялось от 10-60 кг до 1,5 т.

В последние годы ртуть уже неоднократно использовалась с целью умышленного нанесения вреда здоровью людей и совершения терактов (металлическую ртуть целенаправленно разливают в школах, подъездах, на избирательных участках, в офисах коммерческих организаций и т. д.; ртуть обнаруживают в различных пищевых продуктах, сигаретах, детских игрушках). Например, в практике ООО «НПП «Экотром» известны случаи, когда демеркуризационные работы выполнялись в помещениях коммерческих организаций, где сознательно была разлита металлическая ртуть (злоумышленники помещали металлическую ртуть даже в микрофоны телефонных трубок). Несколько лет назад в г. Челябинске четыре человека – местные бизнесмены – отравились в бане парами ртути [54]. Один из пострадавших бизнесменов погиб. После обследования бани было установлено, что ее стены и пол пропитаны ртутью, содержание паров которой в воздухе помещения значительно превышало допустимые нормы.

Ситуация, сложившаяся с обращением ртути, например, в г. Москве, иллюстрируется ниже приводимым выборочным перечнем событий, о которых в последние годы сообщалось в российских средствах массовой информации.

17.07.2000 (lenta.ru, «Интерфакс») – ликвидировано подпольное производство взрывчатки и наркотиков, которое располагалось в подвале общежития на пр. Вернадского; здесь обнаружено 55 кг металлической ртути, 100 г гексогена и 40 кг азотной кислоты.

29.10.2000 (РБК) – на улице Новокузнецкой около гаражей обнаружено (в пакете) 5 кг металлической ртути.

1.11.2000 (lenta.ru, ИТАР-ТАСС) – в мусорном контейнере на территории школы № 415 и на расположенной недалеко детской площадке школьникам были найдены более 700 ампул с амальгамой. Игра школьников с ампулами привела к заражению школьного здания и прилегающих территорий ртутью. Шестеро школьников и школьная медсестра были госпитализированы с подозрением на отравление парами ртути.

12.01.2001 (канал ТВЦ) – на ул. Енисейской на территории детского сада было разлито большое количество ртути.

2.04.2001 (lenta.ru, ИТАР-ТАСС) – в здании строительного управления № 22 (Ломоносовский пр., 22) были собраны 10 кг разлитой металлической ртути.

28.04.2001 (1-й канал) – задержан торговец ядами, который в подвале одной из школ Западного округа столицы хранил десятки килограммов ртути и других ядовитых химических препаратов.

29.04.2001 (lenta.ru, «Интерфакс») – за незаконный оборот сильнодействующих веществ задержан житель Западного округа столицы, на квартире которого обнаружено и изъято значительное количество ртути и других ядовитых веществ и химических препаратов.

28.06.2001 (lenta.ru, РИА «Новости») – на территории спорткомплекса «Лужники» обнаружена разлитая металлическая ртуть; ампулы с ртутью были также обнаружены под одноэтажным зданием, в котором находятся офис, столовая для рабочих и актовый зал.

17.07.2001 (lenta.ru, РИА «Новости») – на месте снесенных гаражей по Симферопольскому пр. ликвидирован разлив 5 кг металлической ртути.

10.10.2001 (lenta.ru, РИА «Новости») – у дома № 19 на Халтуринской улице были разлиты 8 кг металлической ртути.

14.08.2001 (Страна.ru) – недалеко от станции метро «Фрунзенская» в мусорных контейнера обнаружены банки с 5 кг металлической ртути.

10.12.2001 (Газета.ru, РИА «Новости») – в подвале жилого дома № 46 на Фрунзенской наб. обнаружен разлив ртути; концентрации паров ртути в воздухе подвала превышали ПДК в 30 раз.

15.12.2001 (NEWSru.com, «Интерфакс») – задержаны два жителя Татарстана, которые пытались продать 30 кг металлической ртути.

31.01.2002 (lenta.ru, РИА «Новости») – в одном из корпусов Московского областного научного института клинических исследований разлита ртуть.

1.11.2002 («Время новостей»; «Die Welt») – задержан боевик из отряда Шамиля Басаева, у которого находилось 8 кг ртути.

6.11.2002 (NEWSru.com, ИТАР-ТАСС) – задержаны два гражданина Украины, которые пытались продать 12 кг металлической ртути.

17.12.2002 (NEWSru.com) – в ломбарде ООО «Красная мельница» обнаружена металлическая ртуть, разлитая вдоль окна и плинтуса. Установлено, что бывший работник ломбарда таким образом пытался отомстить за свое недавнее увольнение.

24.12.2002 (Regionov.net; Грани.Ру) – пресечена попытка сбыта одним москвичом 20 кг металлической ртути.

2.02.2003 (Страна.Ру, РИА «Новости» от 26.04.2003) – обнаружен тайник с взрывчатыми веществами, реактивами 1 кг ртути.

13.02.2003 (ИА REGNUM, РИА «Новости») – в Перово (Федеральное ш., д. 6, корп. 4) в мусорном контейнере обнаружено около 3 кг металлической ртути.

15.03.2003 (Газета.ру, РИА «Новости») – на станции метро «Таганская-кольцевая» в кабельном коллекторе под платформой поездов обнаружена ртуть.

4.10.2003 (Первый канал, ИА REGNUM) – на детской площадке (1-й Грайвороновский проезд, у дома № 9) разлито почти 2 кг металлической ртути.

Имеющиеся данные указывают на то, что проблема «остаточного» и «современного» ртутного загрязнения жилых, общественных, производственных (не связанных с использованием ртути и ее соединений в технологических процессах) зданий и помещений, различных материалов, транспортных средств и т. д. сейчас актуальна для многих городов и поселков страны. Например, исследования, выполненные в Москве, установили, что примерно в 25-30% обследованных школ и детских садов существуют скрытые («застарелые») источники паров ртути различной интенсивности [25]. В Санкт-Петербурге ртутное загрязнение было обнаружено почти в 50% школ и 30% детских дошкольных учреждений города [24]. Все это определяет высокую вероятность длительного воздействия паров ртути на детей и подростков, т. е. на одну из наиболее чувствительных к ртутной экспозиции категорий населения.

Следует отметить, что так называемое бытовое загрязнение ртутью производственных помещений – типичное явление для многих стран мира [52, 57, 58]. Например, анализ данных за 1993-1998 гг. в 10 штатах США, показал, что за указанный период отмечено 406 случаев разливов металлической ртути в школах, университетах, жилых домах и медицинских учреждениях [58]. Все эти аварии были связаны с человеческим фактором. Обследование пострадавших людей показало, что у 14 из них было отмечено ухудшение состояния, у 31 человека повысилось содержание ртути в крови. Авторы приходят к выводу, что проливы ртути оказывают сильное влияние на здоровье населения и приводят к значительным экономическим потерям. По их мнению, необходима разработка мер, повышающих степень безопасности работы (использования) ртути и содержащих ее приборов.

Во многих городах специфическим способом поступления ртути в жилые помещения являются работники промышленных предприятий. Так, например, изучение распределения ртути в волосах детей, родители которых работали на промышленных предприятиях (существует высокая вероятность систематического контакта с токсичным металлом) и в непромышленных организациях (вероятность контакта с ртутью априори отсутствует) г. Саранска показало следующее [42-44, 51]. Прежде всего, независимо от района проживания уровни содержания ртути в волосах были выше у тех детей, родители которых (или хотя бы один из родителей) работали на Саранском электроламповом заводе (ОАО «Лисма- СЭЛЗ»), где производятся лампы накаливания и люминесцентные (ртутные) источники света (табл. 2). Это явно указывает на перенос ртути в жилые помещения родителями (на одежде, обуви и т. д.).

Таблица 2. Интервалы содержания ртути в волосах детей

Место работы родителей (n = 15-25 проб)	Ртуть, мкг/г
Завод СЭЛЗ	0,2-1,6
Приборостроительный, телевизионный заводы	0,1-0,5
Механический, инструментальный заводы	0,1-0,4
Кабельный завод	0,1-0,2
Непромышленные организации *	<0,1-0,1

* Различные учреждения, где априори отсутствует контакт с ртутью.

Действительно, по данным [31], в раздевалках и шкафах, где хранится одежда рабочих указанного завода, уровни паров ртути в воздухе существенно превышали ПДК, установленную для рабочей зоны. В сред-

нем содержания ртути в волосах детей рабочих завода СЭЛЗ были в 2-16 раз выше, нежели у детей работников непромышленных организаций города. Необходимо отметить, что аналогичные факты были установлены ранее для других городов, где также расположены «ртутные» производства [23, 41]. Характерно, что уровни ртути в волосах детей работников других промышленных предприятий также были выше, нежели у детей сотрудников непромышленных организаций города. Это свидетельствует о наличии на таких предприятиях вторичных источников загрязнения производственной среды ртутью (например, ртутные приборы и устройства и т. п.). Острота указанной проблемы усугубляется тем, что существенная доля работающих в народном хозяйстве страны занята на производстве с вредными условиями труда, обусловленных именно контактом с токсичными веществами [9]. К тому же многие промышленные предприятия, не обладающие по своему статусу вредным производством, отличаются повышенными содержаниями различных вредных веществ, в том числе ртути, в производственной среде. В частности, известно значительное количество промышленных объектов различного профиля, где в воздухе рабочей зоны постоянно присутствуют повышенные концентрации ртути, не используемой непосредственно в производственном процессе, а входящей в состав сырья в виде нежелательной примеси или являющейся составной частью приборов и т. п. [34]. При определенных условиях это может приводить к постоянному переносу ее на одежде и обуви рабочих в места их проживания. Безусловно, необходимы организация специального санитарного контроля на предприятиях и осуществление специальных программ, направленных на обследование членов семей профессиональных рабочих, контактирующих в производственных условиях с вредными веществами.

Имеющиеся сведения показывают, что практически в любом промышленном городе имеется значительное количество непромышленных источников ртути, способной при тех или иных условиях поступать в городские помещения (жилые, общественные, коммерческие). Это хорошо иллюстрируется данными, полученными для г. Санкт-Петербурга и г. Москвы.

Так, в Санкт-Петербурге общие «запасы» ртути в рассеянном и сосредоточенном виде оцениваются в 53-60 т (табл. 3), причем порядка половины ее связано с верхним слоем городских почвогрунтов, в которых наблюдаются достаточно обширные зоны техногенного ртутного загрязнения (табл. 4) [22]. В большинстве районов города масштабы загрязнения

почв ртутью намного превышают их загрязнение другими токсичными элементами как по интенсивности концентрирования, так и по площади зон загрязнения. Кроме того, в Санкт-Петербурге соответствующими муниципальными службами регистрируются до 250 случаев в год аварийных разливов металлической ртути, обусловленных наличием так называемой сосредоточенной ртути. Авторы цитируемой работы на основании более 3000 анализов биосубстратов жителей Петербурга пришли к выводу, что ~ 1 млн. чел. нуждаются в медицинском обследовании, а ~ 200 тыс. чел. – в лечении и реабилитации.

Таблица 3. Ртуть на территории г. Санкт-Петербурга [22]

Депонирующие объекты	Запасы ртути	
	тонны	доля, %
Рассеянная ртуть		
Почвогрунты города (слой 0-10 см)	28-29	48,0-52,6
Осадки илов очистных сооружений	1,5	2,5
Действующие свалки	2,5-3,1	4,7-5,1
Старые свалки	9-10	16,5-17,0
Всего	41-43,6	71,7-77,2
Сосредоточенная ртуть (в приборах, в виде металла и т. п.)		
Предприятия, учебные и научные институты	10-12	18,8-19,9
Муниципальные учреждения (больницы, школы и др.)	0,5-1	0,9-1,7
Население (медицинские термометры)	3-3,5	5,6-5,8
Ртутные источники света	0,2-0,3	0,4-0,5
Всего	13,7-16,8	25,7-27,9
Итого	53,2-60,4	100

Таблица 4. Распределение ртути в почвах г. Санкт-Петербурга [22]

Содержание		Площадь		Запасы ртути в слое 0-10 см	
мг/кг	K _c *	км ²	доля, %	тонны	доля, %
< 0,03	< 1	5,2	1,5	0,03	0,1
0,03-0,15	1-5	140,2	39	3,08	10,7
0,15-0,30	5-10	92,2	25,6	4,46	15,5
0,30-0,90	10-30	97,1	27,0	12,82	44,5
0,90-2,10	30-70	21,8	6,2	7,19	25,0
>2,10	> 70	2,5	0,7	2,10	4,2
0,36 **	12 **	360***	100***	28,8***	100***

* Коэффициент концентрации относительно фона, ПДК ртути в почвах – 2,1 мг/кг.

** Среднее.

*** Сумма.

Исследования распределения ртути в верхнем слое почв г. Москвы показали, что существенная территория города (почти 20% площади) характеризуется очень высокими ее концентрациями, многократно превышающими фоновые уровни (табл. 5).

Зоны с содержанием ртути в почвах выше ПДК занимают лишь 0,54% территории города, однако в абсолютном выражении это составляет целых 6 км². Все это свидетельствует о высокой ртутной нагрузке на городскую среду и обуславливает необходимость исследований по выяснению детальной структуры зон загрязнения.

Таблица 5. Ртуть в верхнем слое почв в пределах Москвы (природные уровни ртути не превышают 0,1 мг/кг) [30]

Интервалы содержания ртути		Площадь, км ²	Доля от площади города, %
мг/кг	кратность ПДК		
< 0,5	< 0,25	~ 904	~ 82,16
0,5 - 1,0	0,25 - 0,5	~ 130	~ 11,80
1,0 - 2,1	0,5 - 1,0	~ 60	~ 5,50
> 2,1	> 1	~ 6	~ 0,54

В существенной мере установленные зоны техногенного загрязнения являются остаточными, поскольку, почва, аккумулируя загрязняющие вещества, отражает многолетний эффект воздействия различных источников загрязнения. Тем не менее она является важным элементом городской среды и во многом определяет ее качество. Почва также выступает как источник вторичного загрязнения воздуха, грунтовых и поверхностных вод. Почвенная пыль, обогащенная металлами (в том числе ртутью), поступает в жилые и общественные здания. Показательно, что в долевого отношении пространственные структуры ртутного загрязнения почвенного покрова Москвы и Санкт-Петербурга в общем случае довольно схожи, что, очевидно, не случайно, а, судя по всему, типично для крупных промышленных городов.

Существующие требования к проведению демеркуризации

В существующих нормативно-методических документах демеркуризацию определяют как «обезвреживание поверхности или объема, зараженных металлической ртутью, ее парами или солями» [18, 19]. Согласно ГОСТ Р 22.0.08-96 [7], под демеркуризацией понимается удаление ртути и ее соединений физико-химическими или механическими способами с целью исключения отравления людей и животных.

Различают несколько видов демеркуризации [6, 11, 17-19, 28, 38]: 1) при осуществлении аварийно-восстановительных работ при ликвидации выброса (разлива) металлической ртути (на местности, при эксплуатации

ртутных производств и т. д.); 2) текущая демеркуризация – комплекс спланированных мероприятий, систематически проводимых в течение проводимых в течение всего времени функционирования «ртутного» производства (использующего в технологических процессах ртуть и ее соединения, а также в помещениях, где проводятся работы с ртутью) и направленных на поддержание в производственных помещениях нормальных условий труда; 3) заключительная демеркуризация, которая представляет собой комплекс мероприятий, проводимых в случае прекращения функционирования (ликвидации, репрофилирования) «ртутного» объекта и которые направлены на максимально полную ликвидацию ртутного загрязнения и его источников; 4) демеркуризация технологического оборудования; 5) демеркуризация спецодежды; 6) демеркуризация различных предметов (мебели, игрушек и т. д.).

Общий порядок организации и условия проведения демеркуризации (в основном текущей и заключительной, а также спецодежды) главным образом на предприятиях и учреждениях по производству и применению ртути, изложены в ряде нормативных и методических документов [11, 18, 19]. В рекомендациях [19], кроме того, в определенной мере рассматриваются особенности демеркуризации жилых и общественных помещений, а также при аварийных разливах ртути (в основном на «ртутных» производствах).

Заключительная демеркуризация обязательно включает механическое удаление ртути и ее соединений, ртутьсодержащих растворов и пыли, изъятие загрязненных ртутью материалов строительных конструкций, покрытий, мебели и т. д. Объем работ по заключительной демеркуризации определяется уровнем содержания ртути в поверхностно расположенных «депо», глубиной ее проникновения в толщу конструкций и характером последующего использования помещений. Если ориентироваться на сведения, приводимые в документах [18, 19], то можно дать следующее деление строительных конструкций по степени заражения их ртутью: а) 1-я степень заражения (незначительной интенсивности), содержание сорбированной ртути в материалах в подавляющем большинстве проб или по средним значениям составляет от 0,1 мг/кг до 1 мг/кг; б) 2-я степень заражения (средней интенсивности), содержание ртути находится на уровне от 1 мг/кг до 10 мг/кг; в) 3-я степень (высокой интенсивности), содержание ртути составляет 10 мг/кг и более. При наличии источников 3-й степени интенсивности или массивных источников 2-й степени предусматривается

удаление поверхностных слоев конструкции (в частности, штукатурки стен и потолков). Кирпичная кладка может быть подвергнута термической демеркуризации и затем, если в результате указанного мероприятия она будет освобождена от ртути, должны быть проведены обычные ремонтные работы: восстановление штукатурки и побелка стен.

Главным критерием эффективности демеркуризации, согласно существующим требованиям, является снижение загрязненности объектов ртутью до допустимых норм. Обычно контроль качества проведения демеркуризации осуществляется по содержанию паров ртути в воздухе. Кроме того, после заключительной демеркуризации проводят контроль загрязнения ртутью материалов строительных конструкций и находящихся в помещении вещей и т. д.

Демеркуризация может быть признана эффективной, если после ее завершения (контрольные анализы проводятся дважды с интервалом в 7 дней): а) в воздухе производственных объектов, лабораторий высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов содержание паров ртути не превышает $0,0017 \text{ мг/м}^3$, т. е. 30% среднесменной ПДК рабочей зоны; 2) в воздухе дошкольных и школьных учреждений и жилых помещений содержание паров ртути не превышает $0,0003 \text{ мг/м}^3$. Особо отмечается, что демеркуризация производственных помещений промышленных предприятий может быть признана достаточной, если после ее завершения, с учетом «фона» промплощадки, содержания паров ртути в воздухе рабочей зоны не превышают $0,005 \text{ мг/м}^3$.

Заключение об эффективности демеркуризации оборудования делается на основании анализа на ртуть в воздухе рабочей зоны вблизи поверхности оборудования (в том случае, если оборудование является единственным источником ртути, то ее содержание не должно превышать среднесменной ПДК, т. е. $0,005 \text{ мг/м}^3$), анализа на ртуть смыва с поверхности оборудования (должно содержаться не более 10 мг/м^2 остаточной ртути, если оборудование подвергается механическому ремонту, передается на «нертутные» участки или на переработку в качестве вторичного сырья, или не более 100 мг/м^2 в съемном оборудовании, устанавливаемом после демеркуризации).

Демеркуризационные работы проводятся с соблюдением необходимых правил безопасности и гигиенических требований. Специалисты (демеркуризаторы), выполняющие работы по демеркуризации, с учетом различного агрегатного состояния ртути и ее соединений, обязаны пользо-

ваться индивидуальными средствами защиты, набор которых определяется интенсивностью ртутного загрязнения, агрегатным состоянием ртути и ее соединений и т. п.

Для демеркуризации различных зданий и помещений используются (рекомендуются) механический, химический и термический способы, которые применяются самостоятельно или, как правило, в определенной совокупности, причем наиболее часто, нередко в обязательном порядке применяют механические и химические способы демеркуризации. В любом случае выбор способа демеркуризации (или их комбинации) обуславливается спецификой объектов и особенностями депонирования (формой нахождения) ртути.

Традиционный механический способ демеркуризации основан на использовании вакуума или амальгмированных медных пластинок в сочетании с гидроструйной или дробеструйной обработкой. Для лучшего сбора ртути загрязненную поверхность рекомендуют посыпать твердой углекислотой (сухим льдом). Промывные воды направляются в канализацию ртутьсодержащих сточных вод. В принципе, тщательная механическая очистка загрязненной поверхности от видимых капель металлической ртути является необходимым и зачастую одним из главных условий эффективной демеркуризации. В большой степени качество механического сбора влияет на эффективность заключительных демеркуризационных работ. Выбор конкретного способа и средств сбора металлической ртути зависит от ее количества и масштабов распространения по поверхностям.

Термическая демеркуризация основана на десорбции ртути с поверхности загрязненных конструкций (поверхностей) при прогревании их до 200-260°C, для чего используются горячий воздух, «тепло острого пара», пламя газовых горелок и т.п. в сочетании с откачкой воздуха (при помощи насоса или воздухоудовки) через сорбенты. Демеркуризация оборудования осуществляется в печах с отсосом воздуха из печи и его очисткой от ртути. Некоторые специалисты считают [36], что проведение термической демеркуризации в комплексе заключительной демеркуризации целесообразно независимо от интенсивности источников вторичного загрязнения.

При химической демеркуризации применяются различные вещества, которые в нормативных документах получили не совсем удачное название «демеркуризаторов». Мы предлагаем называть их демеркуризационными препаратами (демеркуризатор – это специалист в области демерку-

ризации, обладающий необходимой профессиональной подготовкой). Демеркуризационный препарат – это вещество, вступающее в химическое взаимодействие с металлической ртутью и(или) ртутными соединениями, в результате чего образуются устойчивые и малотоксичные отходы, легко удаляемые (собираемые) механически с загрязненных объектов и подлежащие затем утилизации. В общем случае демеркуризационные препараты снижают скорость испарения (десорбции) ртути и ее соединений и облегчают механическое удаление ртути с загрязненных поверхностей. Физико-химические процессы, протекающие при взаимодействии ртути или ее соединений с демеркуризационными препаратами, заключаются в эмульгировании ртути, ее окислении, превращении в малолетучие вещества. При эмульгировании ртуть переводится в более высокодисперсное состояние, тем самым увеличивается активная поверхность и способность ртути взаимодействовать с другими веществами. Помимо эмульгирующего действия, демеркуризаторы при взаимодействии с ртутью лишают ее подвижности, что позволяет использовать их и для собирания капелек ртути. После применения некоторых препаратов обрабатываемая поверхность должна быть тщательно промыта мыльным раствором, а затем чистой водой. При демеркуризации технологического оборудования должны предусматриваться меры по защите от коррозии обеззараживаемых поверхностей. Сточные воды, образовавшиеся в процессе проведения демеркуризации, должны поступать в систему канализации промстоков с последующим их обеззараживанием

К числу демеркуризационных препаратов, рекомендованных в настоящее время к массовому применению, относятся: мыльно-содовый раствор; пиролюзит (паста, состоящая из одной весовой части пиролюзита MnO_2 и двух весовых частей соляной кислоты HCl); 0,2%-ный раствор перманганата калия, подкисленного соляной кислотой; 20%-ный водный раствор хлорного железа; 5-10%-ный водный раствор сернистого натрия; 4-5%-ный раствор полисульфида натрия или кальция; 5-10%-ный водный раствор полисульфида натрия или кальция; 25-50%-ный водный раствор полисульфида натрия; 20%-ный раствор хлорной извести; 4-5%-ный раствор моно- и дихлорамина; 2-3%-ный раствор йода в 30%-ом водном растворе йодида калия; 5-10%-ный раствор соляной кислоты; 10%-ный водный раствор сульфата меди; 10%-ный водный раствор йодида калия; сера. Кроме приведенных составов рекомендуется также применять раствор тиосульфата натрия, 3-5%-ный раствор щавелевой кислоты, 1%-ный вод-

ный раствор натриевой соли дихлоризоциануровой кислоты, водные растворы гипохлорита натрия или лития, содержащие не менее 0,5% «активного» хлора; дегазирующий раствор, представляющий собой раствор дихлорамина (ДХТ-2) в дихлорэтаноле, «состав марки 102», раствор сероводорода. Известны также другие демеркуризационные препараты, разработанные в последнее время и применяемые на практике демеркуризационными предприятиями и организациями. Среди перспективных способов демеркуризации следует, очевидно, отметить метод озонирования [32].

Новые подходы к демеркуризации

В последнее время активно развивается новое направление демеркуризационных работ – демеркуризация объектов городской среды (прежде всего, непромышленных помещений и зданий), напрямую не связанных с «ртутными» производствами. К таким объектам, как уже отмечалось, относятся помещения и здания (жилые, общественные, производственные), различные материалы, оборудование, транспортные средства и т. д., причинами загрязнения ртутью которых являются, например, нарушения правил эксплуатации ртутьсодержащих приборов, устройств и изделий, разливы (по тем или иным причинам) металлической ртути, а также скрытые («застарелые») источники ртути. В частности, демеркуризация объектов городской среды является одним из направлений деятельности ООО «НПП «Экотром», в структуре которого функционируют Служба демеркуризации и аналитическая лаборатория. Ежегодно специалистами ООО «НПП «Экотром» в г. Москве и других регионах России демеркурируется до 3 тыс. м² различных помещений. Эти работы осуществляются с использованием новых способов и новых демеркуризационных препаратов, необходимость разработки которых обусловлена целым рядом причин.

Так, анализ изложенного выше материала показывает, что, во-первых, практически все известные нормативные и методические документы в той или иной степени определяют порядок и условия проведения демеркуризации главным образом на объектах (предприятиях), где ртуть используется (использовалась) в технологических целях. Нормативные и методические документы, определяющие порядок и особенности проведения демеркуризации непромышленных помещений и других «бытовых» объектов города практически отсутствуют. Во-вторых, отсутствует универсальная технология демеркуризации, пригодная для любых случаев

ртутного загрязнения и различных объектов. Действительно, на практике, как правило, спектр загрязненных ртутью объектов городской среды разнообразен и включает различные помещения, транспортные средства (самолеты, вертолеты, железнодорожные вагоны, автомобили и др.), материалы, оборудование, изделия и т. д., что практически всегда требует дифференцированного подхода к их очистке. В-третьих, большинство рекомендуемых в известных документах способов демеркуризации являются достаточно трудоемкими, требуют относительно больших материальных затрат, длительны и, что нередко бывает, не всегда эффективны, а используемые демеркуризационные препараты и приемы могут оказывать негативное воздействие на различные поверхности, конструкции, мебель, оборудование, приборы и непосредственно на человека.

В некоторых методических документах к широкому применению рекомендуются не совсем удачные приемы демеркуризации. Так, например, в [19] предлагается (после проведения основной химической демеркуризации) использовать дополнительную многократную (3-5 раз в течение 15-30 суток) обработку помещения с применением «сплошного слоя древесных опилок, обрабатываемых последовательно теми же растворами демеркуризаторов». Как справедливо отмечают некоторые специалисты [26], «предлагаемая «технология» с использованием опилок не является приемлемым решением, не говоря уже об эффективности, хотя бы потому, что приводит к образованию дополнительных немалых объемов загрязненных соединениями ртути отходов». Кроме того, ни в одном имеющемся методическом документе однозначно не разрешается проблема утилизации отходов демеркуризационных работ. Например, в [19], где предлагается использовать «опилковую технологию» сказано, что (после завершения работ) «опилки загружаются в герметичную тару, например, мешки из прорезиненной ткани, удаляются с аварийного объекта и **уничтожаются** (выделено нами – авт.) установленным порядком». В этом документе постоянно встречаются такие рекомендации: «сбор и утилизация отходов (демеркуризации – авт.) проводится установленным порядком»; «использованные в процессе демеркуризации расходные материалы, ветошь, а также мусор, собранный при предварительной уборке, **уничтожаются** (выделено нами – авт.) в установленном порядке». К сожалению, во-первых, ничего не говорится об «установленном порядке», во-вторых, трудно себе представить, что опилки и прочие расходные ма-

териалы могут просто «уничтожиться», т. е. исчезнуть (или, говоря проще, превратиться в ничто).

В документе [18] указывается, что ртуть, загрязненная механическими примесями, подлежит регенерации, которая осуществляется либо на производстве, где проводилась демеркуризация (если для этого созданы условия), либо на Никитовском ртутном комбинате (который уже не функционирует). Другие ртутьсодержащие отходы (выломки полов, стен, других элементов зданий и сооружений, футеровка и детали технологического оборудования и т. п.) при содержании в них менее 0,5% ртути классифицируются и подвергаются утилизации как отходы класса Г согласно ГОСТ 1639-78. При более низком содержании ртути в отходах демеркуризации они классифицируются по токсичности и опасности и подлежат захоронению согласно соответствующим санитарным правилам. Сточные воды, образовавшиеся в процессе проведения демеркуризации, должны поступать в систему канализации промстоков с последующим их обезвреживанием. В [19] рекомендуется после сбора пролитой ртути следующим образом проводить демеркуризацию образующихся отходов: «демеркуризация отходов осуществляется в герметично закрывающейся таре раствором, приготовленным на основе марганцевокислого калия и концентрированной соляной кислоты... Обработанные отходы выдерживаются в течение трех суток в вытяжном шкафу, затем уничтожаются. Порядок уничтожения определен «Санитарными правилами при работе с ртутью...». Обезвреживание различной стеклянной посуды проводится подогретой 50-56%-ной азотной кислотой при эффективно работающей местной вытяжной вентиляции. Все изделия и материалы после сбора ртути уничтожаются или хранятся в установленном порядке. В указанных санитарных правилах все ртутьсодержащие отходы, соответствующие требованию ГОСТ 1639-78, подлежат не уничтожению, а должны использоваться для производства ртути [28].

Безусловно, успех демеркуризационных работ в значительной степени определяется правильным выбором демеркуризационных препаратов, эффективность которых в общем случае определяется:

- максимально возможной степенью извлечения ртути из загрязненных объектов (материалов);
- высокой прочностью связывания извлекаемой ртути с веществом препарата, переводом ее в неподвижные и малотоксичные формы (например, в сульфид ртути), что определяет свойства отходов демеркуризации,

их безопасную транспортировку к местам утилизации или вторичной переработки;

- минимальной агрессивностью по отношению к обрабатываемым материалам (препарат, «очищая» объект от ртути, не должен при этом вызывать его разрушение);

- гигиенической безопасностью (препарат и его составляющие не должны оказывать токсического действия на людей).

В то же время анализ имеющихся данных и исследования, выполненные специалистами ООО «НПП «Экотром» в содружестве с сотрудниками ряда академических и отраслевых институтов, показали, что многим традиционно применяемым (или рекомендуемым к применению) демеркуризационным препаратам свойственны практически неустраняемые недостатки. В частности, одни из них отличаются неполным преобразованием элементарной ртути (переводом ее в прочносвязанные формы); другие препараты характеризуются повышенной коррозионной агрессивностью к обрабатываемым материалам, оборудованию, приборам и т. д., а также изменять цвет конструкционных материалов; целый ряд препаратов, их составляющие компоненты или продукты разложения обладают повышенной или даже высокой токсичностью для людей. Действие некоторых препаратов направлено на дегазацию ртути из загрязненных материалов, что может приводить к вторичному перераспределению ртути в среде обитания и негативному воздействию на людей. Например, растворы хлорного железа, сульфата железа, едкого натра, используемые в качестве демеркуризационных препаратов, прямо рекомендуются в качестве веществ, применяемых для дегазации различных сильнодействующих ядовитых веществ, в том числе, ртути [16]. Нередко многие из указанных недостатков свойственны одному и тому же демеркуризационному препарату (табл. 6).

В сущности, сказанное, и обусловило необходимость разработки новых демеркуризационных препаратов, отвечающих выше приведенным требованиям, что было сделано специалистами ООО «НПП «Экотром» [20, 21]. Производственная апробация разработанных демеркуризационных препаратов показала их высокую эффективность при проведении демеркуризации самых различных объектов. Так, один из препаратов, получивший название «Э-2000», отличается высокой проникающей способностью, позволяет извлекать ртуть из щелей и зазоров пола и стен, диспергирует жировые загрязнения, содержащие ртуть, и тем самым обеспечивает благоприятные условия для протекания процесса демеркуризации. Важен и тот

факт, что демеркуризация с использованием этого препарата достаточно проста в исполнении и не требует сложного оборудования, а собственно препарат и его составляющие компоненты не оказывают негативного воздействия на различные поверхности и токсического влияния на людей.

Таблица 6. Характеристики некоторых демеркуризационных препаратов

Препарат	Характеристика
Водные растворы хлорного железа	Неполное преобразование элементарной ртути; сильная коррозия металлических неокрашенных поверхностей, бетонные и цементно-бетонные покрытия, покрашенные перхлорвиниловыми лаками, порча деревянных и некоторых полимерных покрытий; дегазация ртути из загрязненных материалов
Сульфат железа	Дегазация ртути из загрязненных материалов
Водные растворы перманганата калия	Неполное преобразование элементарной ртути; коррозионное воздействие на углеродистую сталь, ПВХ-линолеум, ПВХ-пластикат, бетонные и цементно-бетонные покрытия, покрашенные перхлорвиниловыми лаками
Тиосульфат натрия	Неполное преобразование ртути в прочносвязанные формы
Полисульфид натрия	Повышенная агрессивность к материалам, токсичен, не полностью переводит ртуть в прочносвязанные формы
Хлорная известь	Агрессивна к различным материалам, повышенная токсичность
Галогенсодержащие препараты	Повышенная агрессивность к материалам, токсичны; с галогенами ртуть в большинстве своем образует ядовитые соединения
Водные растворы азотной кислоты	Разъедающее воздействие на неметаллические антикоррозионные материалы, графит и пр., некоторые виды цементно-песчаных покрытий, ПВХ-пластикат, ПВХ-линолеум; азотная кислота – сильный окислитель; пары кислоты - токсичны
Водные растворы серной кислоты	Коррозионное воздействие на углеродистые стали, некоторые виды цементно-песчаных покрытий, ПВХ-линолеум, ПВХ-пластикат; аэрозоли серной кислоты токсичны; кислота оказывает сильное местное воздействие
Водные растворы соляной кислоты	Повышенная агрессивность к материалам и повышенная токсичность
Сульфат меди	Повышенная агрессивность к материалам, токсичен
Каустическая сода	Дегазация ртути из загрязненных материалов; сухой едкий натр вызывает тяжелые поражения глаз, слизистых оболочек, кожи
Водные растворы гипохлоритов и монохлоаминов	Коррозионное воздействие на стальные покрытия, покрытия перхлорвиниловыми эмалями, ПВХ-линолеум, ПВХ-пластикат; гипохлориты металлов (ионные гипохлориты) в безводном состоянии нестабильны и взрывчаты; гидраты в обычных условиях самопроизвольно распадаются с выделением активного (токсичного) хлора; у людей известная повышенная чувствительность к гипохлориту натрия и к выделяющемуся хлору
Раствор дихлорамин в хлорсодержащих углеводородах	Негативно воздействует на стальные покрытия, цементно-песчаные покрытия, ПВХ-линолеум, ПВХ-пластикат
Дихлорэтан	Токсичен, при попадании внутрь или при воздействии паров может вызывать психические расстройства, поражение печени, почек и др.

Препарат (состав) «Э-2000» содержит серосодержащее вещество (полисульфид кальция), поверхностно-активное вещество (оксиэтилированный спирт), комплексообразователь (диэтилтриаминопентауксусная кислота) и воду [20].

Как известно, на основе полисульфида кальция ($\text{CaS} \times \text{S}_x$) готовится особый водный раствор, получивший название известково-серного отвара (ИСО), который разрешен для широкого применения в сельском хозяйстве в качестве акарицида и фунгицида. ИСО характеризуется как препарат, малотоксичный для человека и животных [29].

Оксиэтилированный спирт (моноалкиловый эфир полиэтиленгликоля) относится к классу неионогенных ПАВ (поверхностно активных веществ), которые часто включаются в рецептуры моющих средств, находят применение в текстильной, горнорудной промышленности, в металлообработке, в нефтяной промышленности, при флотации руд, как полировочные средства в автопромышленности, в промышленности искусственных смол и др. Токсикологические исследования показали [1], что вдыхание аэрозолей или помещение в рот достаточно высоких доз неионогенных ПАВ оказывали слабое раздражающее воздействие. Эксперименты на животных показали, что вдыхание аэрозолей ПАВ также не вызывало в их организме существенных изменений.

Диэтилтриаминопентауксусная кислота (ДТПА) – органическое хелатообразующее соединение, известный и широко применяемый на практике комплексон, малотоксичный и быстро выводимый из организма [39]. Комплексное соединение ДТПА с Fe(III) и другими микроэлементами используют как средство от хлороза растений и в качестве микроудобрения, а кальциевый комплекс ДТПА применяют для выведения ионов токсичных металлов из организма.

Экспериментальные исследования установили, что препарат «Э-2000» является не только безопасным, но и эффективным демеркуризационным препаратом, при воздействии которого на металлическую ртуть образуется преимущественно (до 70%) сернистая ртуть (искусственный сульфид ртути) и так называемая предсульфидная форма ртути, т. е. ртуть, химически адсорбированная серой, со временем преобразующаяся в сернистую ртуть (в искусственный сульфид ртути) [15]. Анализ эталона химически чистого сульфида ртути, выполненный с применением термического атомно-абсорбционного анализа, основанного на непрерывном линейно-ступенчатом температурном сканировании образца с детектиро-

ванием образовавшейся атомарной ртути на ртутном анализаторе, показал, что основной выход ртути из образца наблюдается в интервале температур 240-340°C [15]. Это дает основание идентифицировать соединение, «термоформа» которого отвечает указанному температурному интервалу, как HgS. Эффективность демеркуризационного препарата «Э-2000» определялась при непосредственном его воздействии на металлическую ртуть. Согласно данным термического анализа [15], продуктам демеркуризации, образующимся при обработке ртути указанным препаратом, соответствуют термоформы с температурными интервалами 240-340°C и 140-240°C. Соединение с термоформой в интервале 240-340°C выше идентифицируется как сульфид ртути. Термоформа, соответствующая интервалу 140-240°C, указывает на наличие ртути, адсорбированной серой [15]. Важным является и тот факт, что при использовании препарата «Э-2000» ртуть в обрабатываемом материале фиксируется преимущественно в двух формах – в виде искусственного сульфида и «предсульфидной» формы. Это принципиально отличает данный препарат от действия известных демеркуризационных препаратов, которые фиксируют ртуть в нескольких формах, существенная часть которых отличается высокой подвижностью (табл. 7).

Таблица 7. Влияние демеркуризационных препаратов на преобразование форм нахождения ртути в ртутьсодержащем люминофоре [15]

Демеркуризационный материал	Выход ртути (в % от вала) при различных интервалах температур, °C				
	<140	140-240	240-340	340-480	> 480
Необработанный люминофор	89,6	5,3	1,6	2,4	1,0
2%-ный раствор Na ₂ S	66,8	12,6	7,7	10,1	2,8
20%-ный раствор Na ₂ S	13,9	76,5	4,8	3,8	1,0
30%-ный раствор Na ₂ S	14,0	76,1	4,8	4,0	1,1
40%-ный раствор Na ₂ S	13,8	76,0	5,0	4,3	0,9
20%-ный раствор Na ₂ S + S	2,2	60,0	22,6	12,4	2,8
10%-ный раствор K ₂ S ₂ O ₈	2,2	60,1	3,0	-	42,8
10%-ный раствор Na ₂ S ₂ O ₃	20,5	8,9	49,1	8,1	12,8

В частности, при обработке загрязненных ртутью материалов растворами сульфида натрия основной формой ее в продуктах (отходах) демеркуризации является ртуть, адсорбированная сульфид-ионом. При этом остается значительное количество свободной ртути (от 13,8 до 66,8 %). Воздействие полисульфида натрия приводит к образованию сульфида ртути; вместе с тем в продуктах демеркуризации преобладает образование, идентифицированное как ртуть, адсорбированная сульфид-ионом, а содержание свободной ртути снижается до 2,2 %. Адсорбированная сульфид-

ионом ртути со временем (6-12 месяцев) преобразуется в сульфид ртути. Наряду с этим при длительном хранении продуктов демеркуризации, образованных в результате воздействия препаратов на основе сульфида и полисульфида натрия, имеет место и обратный процесс: выделение свободной ртути. Препарат на основе персульфата калия сравним по эффективности с полисульфидом натрия, который снижает содержание свободной ртути до 2,2 %. Однако сульфидная форма ртути в продуктах демеркуризации отсутствует. Значительное содержание свободной ртути в продуктах демеркуризации, образующихся при воздействии тиосульфата натрия, не позволяет считать последний эффективным демеркуризационным препаратом.

В ходе исследований и опытных работ, специалистами ООО «НПП «Экотром» были также обоснованы новые технологические приемы демеркуризации, базирующиеся на дифференцированном подходе, который учитывает специфику, назначение и размеры подлежащего демеркуризации объекта, интенсивность и характер его ртутного загрязнения, вид загрязненных материалов, «возраст» загрязнения, наличие в помещении оборудования, не подлежащего демонтажу и др. В общем случае технология демеркуризации объектов городской среды включает в себя их обследование, направленное на выявление источника и интенсивности загрязнения, проведение обработки помещений и предметов, утилизацию образующихся в ходе демеркуризации отходов.

Следует отметить, что актуальной проблемой, которой уделяется сейчас пристальное внимание во многих странах мира, является очистка от ртутного загрязнения городских территорий, прежде всего, почв и грунтов [56]. В настоящее время в ООО «НПП «Экотром» проводятся исследования по разработке способов предварительного обезвреживания загрязненных ртутью почвогрунтов, суть которых заключается в переводе ртути в ее наиболее устойчивое соединение – сульфид ртути, что позволяет локализовать загрязнение, а при необходимости безопасно транспортировать обработанные и изъятые грунты к местам их утилизации и переработки.

Таким образом, использование разработанных в ООО «НПП «Экотром» демеркуризационных препаратов и технологических приемов демеркуризации позволяет осуществлять практически полную очистку от ртутного загрязнения различных объектов городской среды и безопасную утилизацию образующихся при этом отходов.

Литература

1. Вредные химические вещества. Галоген- и кислородсодержащие органические соединения: Справ. изд. – СПб.: Химия, 1994. – 688 с.
2. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп: Справ. изд. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.
3. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып. 101. Метилртуть: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1993. – 125 с.
4. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып. 118. Неорганическая ртуть: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1994. – 144 с.
5. *Гладков С.Ю., Климов В.А., Симонов В.Д.* Аппаратура и технология поиска источников ртутных загрязнений // Ртуть. Комплексная система безопасности. Сборник мат-лов 3-й научн.-техн. конф. – СПб., 1999, с. 44-45.
6. ГОСТ 4658-73. Ртуть. Технические условия.
7. ГОСТ Р 22.0.08-96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Взрывы. Термины и определения.
8. *Грушко Я.М.* Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу: Справ. изд. – Л.: Химия, 1987. – 192 с.
9. *Измеров Н.Ф.* Охрана здоровья рабочих и профилактика профессиональных заболеваний на современном этапе // Медицина труда и промышленная экология, 2002, № 1, с. 1-7.
10. *Ильницкий А.П.* Канцерогенные факторы жилища (эколого-гигиенические аспекты). – М.: РАНКО-пресс. 1995. – 63 с.
11. Инструкция по очистке спецодежды, загрязненной металлической ртутью или ее соединениями. Утв. зам. Гл. гос. санитарного врача СССР 20 июля 1976 г. № 1442-76 (Приложение № 4 к СП №780-69).
12. *Коровицкий С.Л.* Изъятие не используемой ртути и ртутьсодержащих изделий как фактор уменьшения опасности ртутных загрязнений // Ртуть. Комплексная система безопасности. Сборник мат-лов 3-й научн.-техн. конф. – СПб., 1999, с. 33-35.
13. *Косорукова Н.В.* Влияние ртути на усталостную долговечность и коррозионную стойкость конструкции самолетов из алюминиевых сплавов: Автореф. дис... канд. техн. наук. – К., 1983. – 17 с.
14. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. Вып. 1: Ртуть: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1979. – 148 с.
15. *Макарченко Г.В., Косорукова Н.В., Волох А.А.* Демеркуризация объектов городской среды // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 153-160.

16. *Максимов М.Т.* Защита от сильнодействующих ядовитых веществ. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 176 с.
17. Межотраслевые правила по охране труда при производстве и применении ртути. ПОТ РМ-009-99. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2001. – 64 с.
18. Методические рекомендации по контролю за организацией текущей и заключительной демеркуризации и оценке ее эффективности. № 4545-87. – М.: Минздрав СССР, 1989. – 16 с.
19. Методические рекомендации по организации и проведению демеркуризации. – М.: ВНИИ ГОЧС, 1998.
20. Патент № 2175664 «Способ демеркуризации объектов, загрязненных ртутью, и состав для демеркуризации “Э-2000+”».
21. Патент № 2240337 «Состав для демеркуризации».
22. *Пуминов Я.А., Решетов В.В., Машьянов Н.Р.* Особенности депонирования ртути на территории Санкт-Петербурга Ртуть. Комплексная система безопасности. Сборник мат-лов 3-й научн.-техн. конф. – СПб., 1999, с. 47-49.
23. *Ревич Б.А., Сотсков Ю.П., Тростина В.И.* Накопление химических элементов в организме человека в техногенных геохимических аномалиях // Методы изучения техногенных геохимических аномалий. – М.: ИМГРЭ, 1984, с. 20-31.
24. Ртуть. Комплексная система безопасности. Сборник мат-лов 2-й науч.-техн. конф. – СПб., 1996. – 104 с.
25. Ртуть. Комплексная система безопасности. Сборник мат-лов 3-й научн.-техн. конф. – СПб., 1999. – 156 с.
26. Ртуть. Нормативные и методические документы. Справочник. Т. II. – СПб., 2001. – 80 с.
27. *Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
28. Санитарные правила при работе с ртутью, ее соединениями и приборами с ртутным заполнением. № 4687-88. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 37 с.
29. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1989. – 656 с.
30. *Соколов Л.С.* Ртуть в окружающей среде Московского региона // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 90-95.
31. *Степанов Н.А.* Гигиеническое исследование опасности для здоровья человека в связи загрязнением заводской и окружающей среды рту-

тью от производства люминесцентных ламп: Автореф. дис.... канд. мед. наук. – СПб., 1997. – 25 с.

32. *Степанова Н.И.* Демеркуриация озонированием // Медицина труда и промышленная экология, 2004. № 2, с. 34-36.

33. Территориальный газо-ртутный мониторинг непромышленных объектов. Методические рекомендации. № 2001/159. – М.: Минздрав России, 2002.

34. *Трахтенберг И.М.* Ртуть как загрязнитель производственной и окружающей среды // Металлы. Гигиенические аспекты оценки и оздоровления окружающей среды. – М.: НИИ гигиены и профзаболеваний, 1983, с. 99-108.

35. *Трахтенберг И.М., Кориун М.Н.* Ртуть и ее соединения в окружающей среде. – Киев: Высшая школа, 1990. – 232 с.

36. *Трахтенберг И.М., Кориун М.Н., Терещенко Л.Г., Краснокутская Л.М.* Демеркуризация как профилактическое мероприятие в системе предупреждения «ртутной опасности» // Гигиена и санитария, 1985, № 2, с. 63.

37. *Уаддн Р.А., Шефф П.А.* Загрязнение воздуха в жилых зданиях (характеристика, прогнозирование, контроль): Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1987. – 159 с.

38. Указания по защите строительных конструкций от воздействия ртути, ртутьорганических соединений, химически агрессивных сред и электрических токов повышенного напряжения. – М.: НИИТЭХИМ, 1975. – 68 с.

39. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 2. – М.: Сов. энциклопедия, 1990. – 671 с.

40. Чистые помещения. Проблемы. Теория. Практика. – М.: Изд-во АСИНКОМ, 2003. – 575 с.

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

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

43. *Янин Е.П.* Специфический источник поступления ртути в жилые помещения // Ртуть. Комплексная система безопасности. Сборник мат-лов научн.-техн. конф. – СПб., 1996, с. 45-48.

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

45. Янин Е.П. Ртуть в России: производство и потребление. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 38 с.
46. Янин Е.П. Ртутные термометры: экологические аспекты производства, использования и утилизации. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 55 с.
47. Янин Е.П. Эмиссия ртути в атмосферу российскими предприятиями черной металлургии. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 16 с.
48. Янин Е.П. Эмиссия ртути в окружающую среду при производстве кокса в России. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 15 с.
49. Янин Е.П. Осадки городских сточных вод как источник поступления ртути в окружающую среду. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 26 с.
50. Янин Е.П. Эмиссия ртути в атмосферу при производстве цемента в России. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 20 с.
51. Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 24 с.
52. Carpi A., Chen Yung-Fou Gaseous elemental mercury as an indoor air pollutant // Environ. Sci. and Technol., 2001, 35, № 21, p. 4170-4173.
53. Global and Regional Mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass Balances. – Dordrecht etc.: Kluwer Academic Publishers, 1996. – 563 p.
54. <http://www.infoural.ru/infoural/delur/1999/r2/14-1...>
55. <http://www.khv.ru/md/12805/theme.htm>.
56. Mercury Contaminated Sites: Characterization, Risk Assessment and Remediation. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. – 538 p.
57. Schober E., Pfeil B., Uhlig B. Schutz und Dekontaminierung von Bauteilen, die durch Quecksilber belastet werden // Z. Gesamte Hyg. und Grenzgeb., 1987, 33, № 1, s. 23-26.
58. Zeitz P., Orr M., Kaye W.E. Public health consequences of mercury spills: hazardous substances emergency events surveillance system // Environ. Health. Perspect., 2002, 110, № 2, p. 129-132.