

© Янин Е.П. Ртуть, человек, окружающая среда (краткий очерк)

Содержание

1. Общие сведения о ртути

- 1.1. Важнейшие свойства ртути
- 1.2. Распространенность ртути в природе
- 1.3. Добыча, производство и использование ртути
- 1.4. Токсичность ртути (как ртуть влияет на здоровье человека)
- 1.5. Технические требования, санитарные правила, нормативы

2. Из глубины веков...

- 2.1. Исторические районы добычи и применения ртути
- 2.2. Ртуть и золото алхимиков
- 2.3. Лекарство или яд?

3. Ртуть и экологические проблемы

- 3.1. Загрязнение окружающей среды ртутью
- 3.2. Ртутьсодержащие отходы потребления и их утилизация
- 3.4. Демеркуризация объектов городской среды

Справочная литература

1. Общие сведения о ртути

Ртуть – удивительный химический элемент. Это очевидно хотя бы по тому, что ртуть – единственный металл, находящийся в жидком состоянии в условиях, которые мы обычно называем нормальными. В таких условиях ртуть способна испаряться и формировать ртутную атмосферу. Именно эти свойства определили особое положение ртути в нашей жизни. Ртуть оказала человечеству огромные услуги. Много веков она находит применение в самых разнообразных сферах человеческой деятельности – от киноварной краски до атомного реактора. На использовании различных свойств ртути были созданы самостоятельные отрасли промышленности, в том числе, добыча золота методом амальгамации, производство газоразрядных ртутных ламп, химических источников тока, хлора и каустической соды. Ртуть применяется в медицине, фармацевтике, стоматологии. Она служила теплоносителем в одном из первых реакторов на быстрых нейтронах.

Ртуть причастна к научным открытиям и техническим достижениям: изобретение Торричелли ртутного барометра, Амантоном и Фаренгейтом ртутного термометра, опыты Паскаля по изучению атмосферного давления, открытие сверхпроводимости Камерлинг-Оннесом, получившего в 1913 г. Нобелевскую премию, знаменитый опыт Майкельсона-Морли, доказавший отсутствие эфирного ветра при движении Земли, эксперименты Дж. Франка и Г. Герца, подтвердившие теорию строения атома Н. Бора, создание вакуум-насоса Ленгмюром и другое. Пары ртути были первым проявителем в фотографическом деле, который использовался Даггером. Особое значение ртуть имела для развития аналитической химии и открытия многих химических элементов и их соединений. Нобелевской премии был удостоен чешский химик Я. Гейровский, создавший полярографический метод химического анализа, где ртуть играет далеко не последнюю роль.

Однако ртуть может быть не только полезной, но и вредной для всего живого. В малых количествах она всегда присутствует в окружающей нас среде. При определенных условиях, особенно в результате промышленной и бытовой деятельности людей, ее концентрации в среде обитания могут заметно возрастать, что способно оказать негативное воздействие на наше самочувствие и состояние здоровья. Одна из самых известных экологических трагедий 20 столетия – болезнь Минамата – вызвана загрязнением окружающей среды ртутью.

1.1. Важнейшие свойства ртути

Ртуть (Hg) – химический элемент II группы периодической системы элементов Д.И. Менделеева; атомный номер 80, относительная атомная масса 200,59; в состав природной ртути входят 7 стабильных изотопов с массовыми числами: 196 (распространенность 0,146%), 198 (10,02%), 199 (16,84%), 200 (23,13%), 201 (13,22%), 202 (29,80%) и 204 (6,85%). Природная ртуть характеризуется относительно устойчивым изотопным соотношением. Тем не менее в ней в небольших количествах присутствуют радиоактивные изотопы. Искусственно получено более 20 короткоживущих изотопов, из которых практическое значение имеют (метки в медицине, в аналитике, в технологических процессах) ^{203}Hg (период полураспада 46,6 дня) и ^{197}Hg (64,1 ч). Ртуть в обычных условиях представляет собой блестящий, серебристо-белый тяжелый жидкий металл. Удельный вес ее при 20°C 13,54616 г/см³; температура плавления = –38,89°C, кипения 357,25°C. При замерзании (–38,89°C) она становится твердой и легко поддается ковке.

Даже в обычных условиях ртуть обладает повышенным давлением насыщенных паров и испаряется с довольно высокой скоростью, которая с ростом температуры увеличивается. Это приводит к созданию опасной для живых организмов ртутной атмосферы. Например, при 24°C атмосферный воздух, насыщенный парами ртути, может содержать их в количестве около 18 мг/м³; такой уровень в 1800 раз превышает ПДК (предельно допустимую концентрацию) ртути в воздухе рабочей зоны и в 60000 раз ПДК в атмосферном воздухе. Ртуть способна испаряться через слои воды и других жидкостей. Кроме благородных газов, ртуть является единственным элементом, образующим пары, которые при комнатной температуре одноатомные (Hg⁰). В нормальных условиях растворимость паров ртути в воде, свободной от воздуха, составляет около 20 мкг/л.

При действии на ртутные пары вольтовой дуги, электрической искры и рентгеновских лучей наблюдаются явления люминесценции, флюоресценции и фосфоресценции. В вакуумной трубке между ртутными электродами при электрических разрядах получается свечение, богатое ультрафиолетовыми лучами, что используется в технике при конструировании ртутных ламп. Это же явление легло в основу спектрального метода определения малых количеств ртути в различных объектах. Ртуть характеризуется очень низкой удельной теплоемкостью. Это ее свойство находило применение в ртутно-паросиловых установках. Еще одно замечательное свойство ртути связано с тем, что при растворении в ней металлов образуются амальгамы - металлические системы, одним из компонентов которых является ртуть. Они не отличаются от обычных сплавов, хотя при избытке ртути представляют собой полужидкие смеси. Соединения, получающиеся в результате амальгамирования, легко разлагаются ниже температуры их плавления с выделением избытка ртути, что нашло широкое применение при извлечении золота и серебра из руд. Амальгамированию подвержены металлы, смачиваемые ртутью. Стали, легированные углеродом, кремнием, хромом, никелем, молибденом и ниобием, не амальгамируются.

В соединениях ртуть проявляет степень окисления +2 и +1. В специальной литературе в таких случаях обычно указывается соответственно Hg(II) или Hg(I). Обладая высоким потенциалом ионизации, высоким положительным окислительным потенциалом, ртуть является относительно стойким в химическом отношении элементом. Это обуславливает ее способность восстанавливаться до металла из различных соединений и объясняет частые случаи нахождения ртути в природе в самородном состоянии. Обычно самородная ртуть содержит небольшие количества других металлов, в том числе золото и серебро, т. е., по сути, является амальгамой. Известны минералы ртути, в которых содержания благородных и других металлов очень высоки (ртутистое серебро, ртутистое золото, ртутистый палладий, ртутистый свинец, амальгамид золота и др.). Ртуть весьма агрессивна по отношению к различным конструкционным материалам, что приводит к коррозии и разрушению производственных объектов и транспортных средств. Так, в 1970-е гг. довольно актуальной была проблема загрязнения самолетов, в конструкции которых попа-

дала ртуть, вызывающая жидкометаллическое охрупчивание алюминиевых сплавов. Самолеты направлялись на капитальный ремонт и даже снимались с эксплуатации.

На воздухе ртуть при комнатной температуре не окисляется. При нагреве до температур, близких к температуре кипения (300-350°C), она соединяется с кислородом воздуха, образуя красный оксид двухвалентной ртути HgO, который при дальнейшем нагревании (до 400°C и выше) снова распадается на ртуть и кислород. Желтый оксид ртути HgO получается при добавлении щелочей к водному раствору соли Hg(II). Существует и оксид ртути черного цвета (Hg₂O), нестойкое соединение, в котором степень окисления ее равна +1. В соляной и разбавленной серной кислотах и в щелочах ртуть не растворяется. Но она легко растворяется в азотной кислоте и в царской водке, а при нагревании – в концентрированной серной кислоте. Металлическая ртуть способна растворяться в органических растворителях, а также в воде, особенно при отсутствии свободного кислорода. Растворимость ее в воде зависит также от pH раствора. Минимальная растворимость наблюдается при pH=8, с увеличением кислотности или щелочности воды она увеличивается. В присутствии кислорода ртуть в воде окисляется до ионной формы Hg²⁺ (создавая концентрации до 40 мкг/л).

Ртуть реагирует с галогенами (хлор, йод, фтор, бром), серой, селеном, фосфором и другими неметаллами. Практическое значение имеют йодная ртуть HgI, хлористая ртуть (каломель) Hg₂Cl₂ и хлорная ртуть (сулема) HgCl₂. При взаимодействии ртути с серой образуется сульфид ртути HgS – самое распространенное в природе ее соединение, в форме которого добывается почти вся ртуть. Оно известно в трех модификациях: красная (идентичная минералу киноварь), черная (черный сульфид ртути, или метациннабарит) и β-киноварь (в природных условиях не обнаружена). Из других соединений ртути известны такие, как гремучая ртуть Hg(ONC)₂, нитрат Hg(NO₃)₂, сульфат (HgSO₄) и сульфит (HgSO₃) ртути, красный и желтый йодид ртути и др. При воздействии на соли ртути аммиака образуются комплексные соединения (белый плавкий преципитат HgCl·2NH₃, белый неплавкий преципитат HgNH₂Cl и др.).

Существует большое количество ртутьсодержащих органических соединений, в которых атомы металла связаны с атомами углерода. Среди них выделяют две основных группы: 1) арилртутные соединения, как правило синтетические, характеризующиеся присутствием в их молекуле радикала ароматических углеводородов; 2) алкилртутные (метил- и диметилртутные) соединения, имеющие в своем составе однозамещенный углеводородный радикал и образующиеся в природных условиях (например, ион метилртути CH₃-Hg⁺). Химическая связь углерода и ртути очень устойчива. Она не разрушается ни водой, ни слабыми кислотами, ни основаниями. С позиций опасности для живых организмов (т. е. с позиций токсикологии – науки о ядах) наиболее токсичными из металлоорганических соединений ртути являются алкилртутные соединения с короткой цепью, прежде всего, метилртуть.

1.2. Распространенность ртути в природе

Ртуть –редкий элемент. Ее средние содержания в земной коре и основных типах горных пород оцениваются в 0,03-0,09 мг/кг, т. е. в 1 кг породы содержится 0,03-0,09 мг ртути, или 0,000003-0,000009 % от общей массы (для сравнения – одна ртутная лампа в зависимости от конструкции может содержать от 20 до 560 мг ртути, или от 0,01 до 0,50% от массы). Масса ртути, сосредоточенная в поверхностном слое земной коры мощностью в 1 км, составляет 100 000 000 000 т (сто миллиардов тонн), из которых в ее собственных месторождениях находится только 0,02%. Оставшаяся часть ртути существует в состоянии крайнего рассеяния, по преимуществу в горных породах (в водах Мирового океана рассеяно 41,1 млн. т ртути, что определяет невысокую среднюю концентрацию ртути в его водах – 0,03 мкг/л). Именно эта рассеянная ртуть создает природный геохимический фон, на который накладывается ртутное загрязнение, обусловленное деятель-

ностью человека и приводящее к формированию в окружающей среде зон техногенного загрязнения.

Известно более 100 ртутных и ртутьсодержащих минералов. Как мы уже знаем, основным минералом, определяющим промышленную значимость ртутных месторождений, является киноварь. Самородная ртуть, метациннабарит, ливингстонит и ртутьсодержащие блеклые руды имеют резко подчиненное значение и добываются попутно с киноварью. Размер кристаллов киновари обычно варьируется в пределах от 2-3 до 0,1 мм; реже наблюдаются кристаллы до 1 см, более крупные (3-5 см) составляют редкость. Теоретический состав киновари: ртуть 86,2%, сера 13,8%. Но в ней часто обнаруживается примесь 15-20 элементов: кремния, алюминия, магния, меди, цинка, мышьяка, сурьмы, серебра и др.

Всего в мире обнаружено около 5000 ртутных месторождений, рудных участков и рудопроявлений, получивших самостоятельное название; из них в разное время разрабатывались около 500. Но за всю историю ртутной промышленности подавляющая часть ртути (более 80%) получена на 8 месторождениях: Альмаден (Испания), Идрия (Словения), Монте-Амиата (Италия), Уанкавелика (Перу), Нью-Альмаден и Нью-Идрия (США), Никитовка (Украина), Хайдаркан (Киргизия). Ртутные руды делятся на очень богатые (5-10% ртути и более), богатые (около 1%), рядовые (0,2-0,3%, бедные (0,06-0,12%), убогие (0,02-0,06%) и ртутьсодержащие (0,01-0,00001%). Руды большинства ныне разрабатываемых месторождений ртути – это в основном рядовые руды. В промышленности для получения металлической ртути используют два варианта технологии ее извлечения из руд: окислительно-дистилляционный обжиг с выделением ртути из газовой фазы и комбинированный способ, включающий предварительное обогащение и последующую пирометаллургическую переработку концентрата. По оценкам, человеком было произведено порядка 700000 т ртути, существенная часть из которых рассеяна на земной поверхности. Количество ртути, которое поступило в среду обитания в ходе других видов человеческой деятельности (при добыче различных полезных ископаемых, выплавке металлов, производстве цемента, сжигании ископаемого топлива и т. д.), также велико.

Ртуть концентрируется не только в ртутных минералах, рудах и вмещающих их горных породах. Согласно закону Кларка-Вернадского о всеобщем рассеянии химических элементов, в тех или иных количествах ртуть обнаруживается во всех объектах и компонентах окружающей среды, в том числе в метеоритах и образцах лунного грунта. Вероятность нахождения ртути в объектах среды обитания определяется чувствительностью используемого анализа, поэтому часто встречающееся выражение «ртуть не обнаружена» свидетельствует только лишь о том, что данный аналитический метод не достаточно точен для обнаружения этого металла. В повышенных концентрациях ртуть содержится в рудах многих других полезных ископаемых (полиметаллических, медных, железных и др.). Установлено накопление ртути в бокситах, некоторых глинах, горючих сланцах, известняках и доломитах, в углях, природном газе, нефти.

Современные данные свидетельствуют о высоком содержании ртути в мантии (второй от поверхности, после земной коры, оболочки Земли), в результате дегазации которой, а также естественного процесса испарения ртути из земной коры (горных пород, почв, вод), наблюдается явление, получившее название «ртутного дыхания Земли». Процессы эти идут постоянно, но активизируются при извержениях вулканов, землетрясениях, геотермальных явлениях и т. п. Поставка ртути в окружающую среду в результате ртутного дыхания Земли (природная эмиссия) составляет около 3000 т в год. Поставка ртути в атмосферу, обусловленная промышленной деятельностью человека (техногенная эмиссия), оценивается в 3600-4500 т в год.

В природных условиях ртуть обычно мигрирует в трех наиболее распространенных состояниях – Hg^0 (элементарная ртуть), Hg^{2+} (ион двухвалентной ртути), CH_3Hg^+ (ион метилртути), а также в виде менее распространенного иона Hg_2^{2+} . Химические соединения Hg(II) встречаются в природе значительно чаще, нежели Hg(I) . В водах между Hg^0 , Hg_2^{2+} и Hg^{2+} устанавливается равновесие, которое определяется окислительно-

восстановительным потенциалом раствора и концентрацией различных веществ, формирующих комплексы с Hg^{2+} . Ионы Hg(II) образуют устойчивые комплексы с биологически важными молекулами. Именно высокое химическое сродство ртути (II) и ее метилированных соединений к биомолекулам в существенной мере определяет токсикологическую опасность ртути в условиях окружающей среды.

Распределение и миграция ртути в окружающей среде осуществляются в виде круговорота двух типов. Во-первых, глобального круговорота, включающего циркуляцию паров ртути в атмосфере (от наземных источников в Мировой океан и наоборот). Во-вторых, локального круговорота, основанного на процессах метилирования неорганической ртути, поступающей главным образом из техногенных источников. Многие этапы локального круговорота еще недостаточно ясны, но полагают, что он включает циркуляцию в среде обитания диметилртути. Именно с круговоротом второго типа чаще всего связано формирование опасных с экологических позиций ситуаций.

Поступающие в окружающую среду из природных и техногенных источников ртуть и ее соединения подвергаются в ней различным преобразованиям. Неорганические формы ртути (элементарная ртуть Hg^0 и неорганический ион Hg^{2+}) претерпевают преобразования в результате окислительно-восстановительных процессов. Пары ртути окисляются в воде в присутствии кислорода неорганическую двухвалентную ртуть (Hg^{2+}), чему в значительной мере способствуют присутствующие в водной среде органические вещества, которых особенно много в зонах загрязнения. В свою очередь, ионная ртуть, поступающая или образуясь в воде, способна формировать комплексные соединения с органическим веществом. Значение имеет взаимодействие ртути с серой (сульфид-ионом), приводящее к образованию (в бескислородных условиях) устойчивого сульфида ртути HgS , который, однако, в присутствии кислорода может окисляться в растворимые соли – сульфит и сульфат ртути, что обуславливает участие металла в последующих химических реакциях. Наряду с окислением паров ртути образование Hg^{2+} может происходить при разрушении ртутьорганических соединений.

Неорганическая ртуть Hg^{2+} претерпевает два важных вида превращений в окружающей среде. Первый – это восстановление с образованием паров ртути. Этот процесс, являющийся ключевым в глобальном круговороте ртути, изучен плохо. Известно, что некоторые бактерии способны осуществлять это преобразование. Второй важной реакцией, которой подвергается Hg^{2+} в природе, является ее превращение в метил- и диметилпроизводные и их последующие взаимопревращения друг в друга. Эта реакция играет ключевую роль в локальном круговороте ртути. Важно то, что метилирование ртути происходит в самых различных условиях: в присутствии и отсутствии кислорода, разными бактериями, в различных водоемах, в почвах и даже в атмосферном воздухе. Особенно интенсивно процессы метилирования протекают в верхнем слое богатых органическим веществом донных отложений водоемов, во взвешенном в воде веществе, а также в слизи, покрывающей рыбу. Метилирование приводит к образованию монометил- и диметилртутных соединений. Монометилртуть ($\text{CH}_3\text{-Hg}^+$, обычно говорят и пишут просто «метилртуть»), обладая, как уже говорилось, высоким сродством к биологическим молекулам, чрезвычайно активно накапливается живыми организмами. Факторы биоаккумуляции, т. е. отношения содержания метилртути в тканях рыб к ее концентрации в воде, могут достигать 10000-100000. Диметилртуть $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, отличаясь высокой растворимостью и испаряемостью, улетучивается из воды в атмосферу, где может превращаться в монометилртуть, удаляться с дождевыми осадками и возвращаться в водоемы и в почву, завершая таким образом локальный круговорот ртути.

Типичные природные (фоновые) концентрации паров ртути в приземном слое атмосферном воздухе обычно составляют 10-15 нг/м^3 при колебаниях от 0,5-1 до 20-25 нг/м^3 . Видимо, именно такие содержания практически безопасны для живых организмов. В зонах загрязнения возрастают в десятки и сотни раз, а в производственных или загрязненных ртутью помещениях могут достигать экстремально высоких значений (до 1-5 мг/м^3). Главной формой ртути в атмосфере являются пары металла (Hg^0), меньшее значе-

ние имеют ионная форма, органические и неорганические (хлориды, йодиды) соединения. Она также связывается с аэрозолями. В зонах загрязнения концентрации ртути в дождевой воде достигают 0,3-0,5 мкг/л и даже более (при фоне обычно не больше 0,1 мкг/л). В городах наблюдается увеличение количества ртути, переносимой с аэрозолями и атмосферной пылью.

Фоновые уровни ртути в природных почвах зависят от их типа, но в большинстве случаев находятся в пределах 0,01-0,1 мг/кг. Нижние пределы характерны для песчаных почв, верхние – для почв, богатых органическим веществом. Содержания, превышающие эти величины, связаны с влиянием загрязнения. В зонах загрязнения уровни ртути, особенно в верхних горизонтах почв, увеличиваются в десятки-сотни раз, иногда даже в тысячи раз. В почвах ртуть активно аккумулируется гумусом, глинистыми частицами, может мигрировать вниз по почвенному профилю и поступать в грунтовые воды, поглощаться растительностью, в том числе сельскохозяйственной, а также выделяться в виде паров и в составе пыли в атмосферу. При сильном загрязнении почв концентрации ртути в воздухе могут достигать опасных для человека величин.

В поверхностных водах ртуть мигрирует в двух основных фазовых состояниях – в растворе вод (растворенные формы) и в составе взвеси (взвешенные формы). В свою очередь, в растворе вод она может находиться в виде двухвалентного иона, гидроксида ртути, комплексных соединений (с хлором, органическим веществом и др.). Среди соединений Hg (II), мы уже знаем об этом, по своему экологическому и токсикологическому значению особая роль принадлежит ртутьорганическим соединениям, которые обычно разделяют на две группы: 1) соединения, в которых ртуть связывается с одним органическим радикалом; 2) соединения, в которых ртуть связывается с двумя органическими радикалами. Первая группа характеризуется высокой растворимостью в воде и липидах (органических веществах, входящих в состав всех живых клеток) и устойчивостью в водной системе (это, например, ион монометилртути $\text{CH}_3\text{-Hg}^+$). Вторая группа включает неполярные соединения, почти нерастворимые в воде и очень летучие (диметилртуть $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$). Доля метилртути от ее общего количества в воде может достигать 20-40%. Монометилртуть активно аккумулируется живыми организмами. Соотношение между количествами образующихся моно- и диметилртути сильно зависит от pH среды. При значениях pH 8-9 почти вся метилированная ртуть находится в форме диметилртути, при более низких значениях pH (часто типичных для современных вод) преобладает монометилртуть. Важнейшими аккумуляторами ртути, особенно в условиях загрязнения, являются взвесь и донные отложения водных объектов. Наиболее высокими концентрациями ртути характеризуются техногенные илы, активно накапливающиеся в реках и водоемах, куда поступают сточные воды промышленности. Уровни содержания ртути в них достигают 100-300 мг/кг и больше (при фоне до 0,1 мг/кг). Известны случаи, когда количество ртути, поступившей со сточными водами и накопившееся в таких илах, составляло десятки и сотни тонн. Нормальное функционирование таких рек и водоемов, их практическое использование возможно только при удалении загрязненных отложений. Использование загрязненных ртутью вод для орошения сельскохозяйственных угодий приводило к ее накоплению в сельхозпродукции до уровней, превышающих ПДК.

Типичные фоновые уровни валовой ртути (растворенные формы) в природных пресных водах составляют 0,03-0,07 мкг/л; в донных отложениях рек и пресноводных озер – 0,05-0,1 мг/кг, в пресноводных растениях – 0,04-0,06 мг/кг сухой массы. Обычно там, где нет указаний на загрязнение ртутью, ее уровни в питьевых водах редко превышают 0,1 мкг/л. Ртуть, прежде всего метилртуть, относится к веществам, которые накапливаются в пищевой цепи, простым образцом которой может быть, например, следующий ряд: личинка – пескарь – окунь – щука - кошка. Это значит, что в каждом последующем организме содержание метилртути обычно многократно выше, нежели в предыдущем. Пищевые продукты, выращенные и полученные при соблюдении необходимых условий, обычно характеризуются допустимым содержанием ртути.

1.3. Добыча, производство и использование ртути

Месторождения ртути известны более чем в 40 странах мира. Мировые ресурсы ртути оцениваются в 715 тыс. т, количественно учтенные запасы – в 324 тыс. т., из которых 26% сосредоточено в Испании, по 13% в Киргизии и России, 8% - в Украине, примерно по 5-6,5% - в Словакии, Словении, Китае, Алжире, Марокко, Турции. Обеспеченность запасами ртути максимального уровня ее потребления, достигнутого в 1990-е годы, составляет для мира около 80 лет. С начала 1970-х гг. из-за экологических факторов конъюнктура рынка ртути стала заметно ухудшаться. Если в начале 1970-х гг. мировое производство первичной ртути (добыча на рудниках и плавка) оценивалось на уровне 10000 т в год, то к концу 1980-х гг. оно уменьшилось более чем в два раза. Это сопровождалось снижением цен на ртуть: с 11-12 тыс. долларов США за 1 т в 1980-1982 гг. до 4-5 тыс. долларов в 1994-1996 гг.

В конце 1990-х гг. добыча и производство первичной ртути осуществлялись в 11 странах, из которых 27% приходилось на Испанию, 19% - на Китай, 15% - на Киргизию, 15% - на Алжир. Мировое производство ртути в 1990-е гг. колебалось в пределах 2,3-2,8 тыс. т/год. Качественное состояние минерально-сырьевой базы ртутной промышленности сейчас оценивается как неудовлетворительное. Дело в том, что в большинстве стран содержания ртути в рудах не превышают 0,55%, что при сложившемся уровне цен не обеспечивает их рентабельную отработку. Это, с одной стороны, отчасти явилось причиной закрытия многих рудников, в том числе в России, Украине, Словении, Турции. С другой стороны, наряду с экологическими причинами, способствует развитию производства попутной и вторичной ртути. Например, в США с 1991 г. ртуть выпускается только как попутный продукт, получаемый при производстве золота. Попутная ртуть извлекается также из руд цветных металлов на месторождениях Финляндии, Италии, Норвегии, Словакии, Марокко. Мировой выпуск ртути из этих источников составляет порядка 400-500 т в год. Попутное получение ртути осуществляется даже из природного газа в Нидерландах и Германии. Развивается получение вторичной ртути из отходов производства и потребления.

Тем не менее, несмотря на снижение производства первичной ртути, объем международной торговли ртутью (экспорт+импорт), в первой половине 1990-х гг. медленно увеличивался и составил в 1995 г. 8,5 тыс. т. Спрос на ртуть удовлетворялся за счет имевшихся в ряде стран складских и стратегических запасов ртути. Сейчас ртуть экспортируют 28 стран, из которых лишь в 8 производится первичный металл. Наиболее значимыми экспортерами ртути являлись Гонконг (перепродажа ртути), Испания, США, Россия и Алжир. Некоторые страны продают вторичную ртуть (Нидерланды, США) или реализовывают складские запасы (Россия, США). В последние годы США отказались от продаж ртути из своих стратегических запасов. Импортируют ртуть 52 страны. Крупнейшими импортерами в 1990-х гг. являлись Гонконг, Китай, Индия, Испания, Нидерланды. Значительную часть испанского импорта составляла ртуть из российских складских запасов: компания Альмаден закупала ее, рафинировала и перепродавала. В 1990-х гг. наблюдалась ситуация, когда предложение ртути заметно отставало от ее спроса.

Эксперты считают, что в ближайшие годы не произойдет резкого изменения конъюнктуры рынка ртути. В ряде отраслей ее применение будет медленно сокращаться. Однако в некоторых производствах, в силу различных причин, например, в приборостроении, электротехнике, оборонной промышленности потребление ртути, видимо, останется на прежнем уровне. Химическая промышленность ряда стран, связанная с производством хлора, каустика, ацетальдегида, винилхлорида ртутным способом, также будет оставаться важным потребителем этого металла. Такие предприятия есть и в России.

В свое время СССР был одним из ведущих в мире производителей первичной ртути (Никитовка в Украине, Хайдаркан в Киргизии и другие, менее крупные месторождения). Например, в 1970-е гг. только в Никитовке выпускалось до 1 тыс. т ртути в год. В 1970-80-е гг. в России – на Сев. Кавказе, Алтае, Чукотке – действовало 4-5 небольших рудни-

ков, которые сейчас закрыты. Производственными мощностями, не обеспеченными в настоящее время достаточно качественной сырьевой базой, располагают ТОО «Краснодарский рудник» на Сахалинском месторождении и Акташское предприятие в Алтайском крае на одноименном месторождении. В России известно 24 месторождения ртути. Самые крупные из них - Тамватнейское и Западнопаянское - расположены на Чукотке. Их освоение требует крупных капиталовложений.

В 1970-е гг. мировое потребление ртути составляло 7-8 тыс. в год; в середине 1990-х гг. оно снизилось до 3,5 тыс. т/год. Заметно уменьшается потребление ртути в Японии и особенно в США, где резко – с 930 т в 1980 г. до 1 т в 1996 г. – сократилось использование ртути в производстве бытовых сухих батареек. Но в это количество не входит красный оксид ртути, применяемый при производстве ртутно-цинковых элементов для медицины и военной техники. Снижается использование ртути в хлорно-щелочном электролизном производстве. В электротехнике в три раза уменьшено (до 25 мг) количество ртути в расчете на стандартную в США четырехфутовую (1,22 м) флуоресцентную лампу-трубку. В 1996 г. структура потребления ртути в США была следующей: 37% - хлорно-щелочная промышленность, 21% - электротехническая промышленность, 11% - производство контрольно-измерительных приборов, 8% - стоматология, 23% - прочие отрасли, включая оборонную промышленность. В других странах темпы уменьшения использования ртути намного ниже, нежели в США и Японии. В ряде стран (в Индии, Индонезии, Бразилии, Мексике, Китае, ЮАР, Танзании и др.) наблюдается даже рост потребления ртути, что связано с развитием хлорно-щелочной промышленности и добычи золота.

В 1980-х гг. в СССР ежегодно использовалось примерно 1250 т ртути в год, из которых около 39 т применялось в светотехнической промышленности. Потребление ртути в России в конце 1980-х гг. составляло 500 т в год; в начале 1990-х гг. было примерно таким же – 400-500 т/год, а к концу 20 в. сократилось до 250-300 т в год. Эксперты считают, что, при должной организации производства, Россия в существенной мере способна обеспечить себя попутной и вторичной ртутью, что позволит также решить многие экологические проблемы.

Ртуть всегда находила широкое применение в различных сферах практической, научной и культурной деятельности человека. К началу 1980-х гг. было известно свыше тысячи разнообразных областей ее применения. Вот основные из них, в которых ртуть и ее соединения в той или иной мере используются и сейчас: 1) химическая промышленность - производство хлора и каустика, ацетальдегида, хлорвинила, полиуретанов, антракинола, ртутьорганических пестицидов, красок; 2) электротехническая промышленность – производство различных ламп, реле, сухих батарей, переключателей, выпрямителей, игнитронов и др.; 3) радиотехническая промышленность и приборостроение - производство контрольно-измерительных приборов (термометры, барометры, манометры, полярографы, электрометры), радио- и телеаппаратуры; 4) медицина и фармацевтическая промышленность - изготовление глазных и кожных мазей, веществ бактерицидного действия, производство витамина В₁₂, изготовление зубных пломб (амальгамы серебра и меди); 5) сельское хозяйство (ядохимикаты, антисептики); в) машиностроение и вакуумная техника – производство вакуумных насосов и др.; 6) военное дело – изготовление детонаторов, управляемых снарядов; 7) металлургия - получение сверхчистых металлов, точное литье, амальгамирование благородных металлов; 8) горное дело (гремучая ртуть); 9) лабораторная практика и аналитическая химия. В энергетике ртуть использовалась как рабочее тело в мощных бинарных установках промышленного типа, где для генерации электроэнергии на первых ступенях применялись ртутно-паровые турбины, а также в ядерных реакторах для отвода тепла. Элементарную ртуть используют в процессах разделения изотопов лития. Ртутью иногда легируют другие металлы. Небольшие ее добавки увеличивают твердость сплава свинца со щелочноземельными металлами. Ее даже использовали при паянии. Цианид ртути применяли в производстве антисептического мыла.

1.4. Токсичность ртути (как ртуть влияет на здоровье человека)

В организме среднего человека (массой тела 70 кг) содержится примерно 13 мг ртути, однако она, по-видимому, не выполняет никакой физиологической роли. По крайней мере, жизненная необходимость этого металла для человека и других организмов не доказана. В последнее время в научной литературе стали появляться сообщения о том, что ртуть обладает определенным биотическим эффектом и оказывает стимулирующее действие на процессы жизнедеятельности (в количествах, соответствующих физиологическим, т. е. нормальным для человека, концентрациям). Есть сведения о присутствии ртути в ядерной фракции живых клеток и о значении этого металла в реализации информации, заложенной в ДНК, и ее передаче при помощи транспортных РНК. Говоря проще, полное удаление ртути из организма, видимо, нежелательно, и те самые 13 мг, «заложенные» в нас природой, должны всегда содержаться в человеке (что, кстати, вполне согласуется с упомянутым выше законом Кларка-Вернадского о всеобщем рассеянии элементов). В то же время, надежно установлено, что ртуть (в дозах, превышающих физиологическую потребность, что, к сожалению, легко достигается) токсична для всех форм жизни, причем практически в любом своем состоянии, за редким исключением. Так, проглотить металлическую ртуть сравнительно не опасно, и она выводится через желудочно-кишечный тракт. Но экспериментировать категорически не рекомендуется, а если такое случилось, то надо немедленно обратиться к врачу! Прием внутрь 1 г ртутной соли смертелен. В пересчете на «чистую» ртуть для этого достаточно 150-300 мг; вредные эффекты проявляются при дозе «чистой» ртути в 0,4 мг.

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 (пары металлической ртути, неорганические или органические соединения), путей поступления и дозы. Она оказывает негативное влияние на взрослых и на детей, на мужчин и на женщин. Основные пути воздействия ртути на человека связаны с воздухом (дыхание), 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. Особое значение имеет профессиональное воздействие, которое значимо в тех отраслях промышленности, где ртуть используется в технологических процессах. Выведение с мочой и калом – два основных пути выделения ртути из организма. Меньшее значение имеют испарения из легких, пот, слюноотделение, кормление молоком. Она теряется и в результате попадания в плаценту и через нее в плод.

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) и хронические (влияние малых доз ртути в течение относительно длительного времени) отравления. Схема распределения ртути в организме человека зависит от формы ртути: элементарной ртути Hg^0 (пары ртути), неорганического иона Hg^{2+} , иона метилртути CH_3-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) CH_3-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. Поглощение неорганических соединений ртути из пищи составляет около 7% от общей поступающей дозы. В желудочно-кишечном тракте, напротив, происходит практически полное всасывание метилртути. Есть сведения, что многие формы ртути

способны проникать в организм человека через кожу. Известны случаи отравления метилртутью при ее попадании на кожу. У беременных женщин ртуть преодолевает плацентарный барьер, поражая плод. Метилртуть попадает и в грудное молоко, накапливаясь до опасных уровней в крови детей.

Хроническое отравление ртутью 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 сильном воздействии сопровождается симптомами острого бронхита, бронхиолита и пневмонии. Наблюдаются изменения в крови и повышенное выделение ртути с мочой. Многие симптомы отравления парами ртути исчезают при прекращении воздействия и принятии соответствующих мер, но трудно достичь полного устранения психических нарушений. Чрезвычайно острое отравление ртутью вызывает разрушение легких. Как правило, отмеченные синдромы и симптомы наблюдаются при воздействии паров ртути при их концентрациях в воздухе более $0,1 \text{ мг/м}^3$. Но психические расстройства могут возникать и при более низких концентрациях. Так, при длительном воздействии низких концентраций паров ртути в воздухе – не более сотых долей мг/м^3 – у людей развивается меркуриализм. Обычно его проявления вначале выражаются в снижении работоспособности, быстрой утомляемости, повышенной возбудимости. Затем указанные явления усиливаются, происходит нарушение памяти, появляются беспокойство и неуверенность в себе, раздражительность и головные боли. Возможны катаральные явления в области верхних дыхательных путей, кровоточивость десен, неприятные ощущения в области сердца, легкое дрожание (слабый тремор), повышенное мочеиспускание и др.

Отравление солями ртути проявляется головной болью, кровоточивостью десен, стоматитом, усилением мочеотделения в начальной стадии отравления, уменьшением его и даже полным прекращением на последующих этапах отравления. В тяжелых случаях развивается язвенно-некротический гастроэнтерит, который может привести к некротическому нефрозу (тяжелому поражению почек) с гибелью эпителия проксимальных отделов почечных канальцев и к смерти пострадавшего через 5-6 дней после отравления. Острое отравление солями ртути приводит к осаждению белков из мукомебран желудочно-кишечного тракта, вызывая боль, рвоту и понос; в случае выживания не исключено поражение печени, а также гемолиз (распад) эритроцитов крови. Могут возникать изъязвления слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки, атрофические изменения печени. Соли ртути аккумулируются в почках. Хроническое отравление солями ртути практически всегда выражается в нарушении функции центральной нервной системы.

Очень токсичны органические производные ртути. Важнейшие признаки отравления ими – тяжелое поражение центральной нервной системы, атаксия (расстройство согласованности в сокращении различных групп мышц), нарушение зрения, парестезия (ощущения онемения, покалывания, ползания мурашек и т. п.), дизартрия (расстройство речи), нарушение слуха, боль в конечностях – установлены и подробно описаны после широко известных отравлений метилртутью в Японии и Ираке. Эти явления практически необратимы и требуют чрезвычайно длительного лечения с целью хотя бы их снижения. Высокая токсичность метилртути (даже при поступлении в организм малых ее количеств в течение длительного периода времени) обусловлена ее липидорастворимостью, что позволяет ей легче проходить через биологические мембраны, проникать в головной мозг, спинной мозг, в периферические нервы, а также пересекать плацентарный барьер и накапливаться в плоде. Метилртуть полностью разрушает нервные клетки центральной нервной системы. После воздействия метилртути на человека и до появления симптомов заболевания обычно проходят недели или месяцы, иногда даже несколько лет. Причина длительного протекания скрытого периода заболевания не понятна. Анализ последствий

заболеваний в Японии и Ираке показал, что у матерей, перенесших легкое отравление ртутью, рождались дети с тяжелым церебральным параличом. Таким образом, внутриутробный период представляет стадию жизненного цикла, очень чувствительную к воздействию ртути.

Сейчас 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. Есть сведения о возможной канцерогенности неорганической ртути.

1.5. Технические требования, санитарные правила, нормативы

В России составы, условия приемки, анализа, транспортировки и хранения ртути и ее соединений определяются государственными стандартами (ГОСТ 4658-73; ГОСТ 4519-48; ГОСТ 3203-68 и др.) и международным стандартом ИСО 1560-75. Наиболее широко используется ртуть, поставляемая по ГОСТ 4658-73 (см. таблицу), который распространяется на металл, предназначенный для производства полупроводниковых материалов, для использования в вакуумтехнике, электротехнике, электронике, приборостроении, фармацевтической, химической и металлургической промышленности.

Химический состав ртути по ГОСТ 4658-73

Требования к составу	Марка ртути				
	P0	P1	P2	P3	P0y
Ртуть, %, не менее	99,9992	99,999	99,99	99,9	99,9996
Нелетучий остаток, %, не более	0,0008	0,001	0,01	0,1	0,0004

Ртуть марок P0, P1 и P2 разливают в баллоны емкостью по 500 мл из толстостенного стекла с толщиной стенки не менее 4 мм, вмещающие по 5 кг металла; марки P3 - в стальные баллоны, вмещающие по 34,5 кг. На ярлыки (иногда и на баллоны) наносят цветные полосы: голубого цвета – для ртути марки P0, белого – для P1 и красного – для P2. Стекланные баллоны упаковываются в четырехгнездовые ящики, футеруются резиной или засыпаются чистыми сухими опилками. Маркировку ящиков производят по ГОСТ 14192-77. Гарантийный срок хранения ртути марок P1 и P2 – 2 года, марки P0 – 3 года. При получении и применении ртути, ее соединений и использовании ртутьсодержащих приборов должны соблюдаться требования, изложенные в нормативных документах, основными из которых являются: ГОСТ 12.3.031-83 «Работа с ртутью. Требования безопасности»; ГОСТ 1639-78 «Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия»; «Санитарные правила при работе с ртутью, ее соединениями и приборами с ртутным заполнением», № 4707-88.

Работы с металлической ртутью необходимо проводить в специально оборудованных помещениях, оснащенных приточно-вытяжной вентиляцией и вытяжными шкапами. Скорость воздуха в рабочем проеме вытяжных шкафов должна быть не менее 1 м/с, а температура воздуха в помещении – не выше 40°C. Категорически запрещается хранение и прием пищи, а также курение в помещениях, где имеет место выделение паров ртути и ее соединений. Все работы необходимо выполнять в спецодежде индивидуального пользования: белом халате с длинными рукавами, специальных перчатках и головном уборе. С металлической ртутью нужно работать в очках. При работе в атмосфере с содержанием паров ртути в 5 и более раз превышающими гигиенические нормативы следует пользоваться противортутными респираторами и противогазами, снабженных поглощающими ртутные пары элементами и фильтрами. По окончании работы необходимо принять душ, вымыть лицо с мылом, руки – с мылом и щеткой, рот и зубы прополоскать слабым раствором марганцовокислого калия или 2%-ным раствором поваренной соли. При остром от-

равлении ртутью пострадавшему следует промыть желудок водой с 20-30 г активированного угля или с взбитым яичным белком, после чего дать молоко, слабительное. В любом случае пострадавшего необходимо доставить в медицинское учреждение.

В нашей стране разработаны и утверждены гигиенические нормативы – ПДК (предельно допустимые концентрации) и МДУ (максимально допустимые уровни) ртути в пищевых продуктах, кормах для сельскохозяйственных животных и птицы, в воздухе рабочей зоны и населенных пунктов, в природных водах и почве (см. таблицы).

ПДК ртути в некоторых пищевых продуктах (на естественную массу)

Продукты	ПДК, мг/кг
Молоко, кисломолочные изделия, фруктовые и овощные соки	0,005
Масло сливочное, мясо и птицы свежие и мороженые	0,03
Внутренние органы и продукты их переработки	0,1
Почки	0,2
Яйца	0,02
Рыба свежая охлажденная:	
Пресноводная хищная	0,6
Пресноводная нехищная	0,3
Морская	0,4
Хлеб, зерно, фрукты	0,01
Овощи	0,02

Максимально допустимый уровень ртути в кормах для сельскохозяйственных животных и птицы, мг/кг

Комбикорма				Зерно, зернофураж, корма микробного синтеза, минеральные добавки, в том числе цеолиты	Грубые и сочные корма, корнеклубнеплоды, корма для производства продуктов детского питания	
Сви- ньи	Птица		Крупный и мелкорогатый скот			
	От- корм	Яйце- носная	Откорм			Молочный
0,1	0,1	0,05	0,01	0,05	0,1	0,05

ПДК ртути в воздухе, природных водах и почве

Вещество	Воздух, мг/м ³		Вода водоисточников, мг/л		Почва, мг/кг
	рабочей зоны	атмосферный	водоемов	рыбохозяйственных водоемов	
Ртуть металлическая	0,01	0,0003	0,0005	0,001	2,1
Соединения ртути*:					
амидохлорид Hg (II)	0,2 / 0,05**	0,0003	-	-	-
ацетат Hg (I) и Hg (II)	0,2 / 0,05	0,0003	-	-	-
бромид Hg (II)	0,2 / 0,05	-	-	0,001	-
иодид Hg (II)	0,2 / 0,05	0,0003	-	0,001	-
нитрат Hg (I) и Hg (II)	0,2 / 0,05	0,0003	-	0,001	-
оксид Hg (II)	0,2 / 0,05	0,0003	-	-	-
сульфат Hg (I) и Hg (II)	0,2 / 0,05	-	-	0,001	-
тиоцианат Hg (II)	0,2 / 0,05	-	-	0,001	-
хлорид Hg (I) и Hg (II)	0,2 / 0,05	0,0003	-	-	-

* ПДК для соединений даны в пересчете на ртуть; ** в знаменателе указано значение среднесменной ПДК.

Обычно суточное поступление ртути (с воздухом, пищей, водой) в организм человека составляет менее 20 мкг, что, видимо, является «нормальной» дозой. Более высокие уровни отмечаются в тех местах, где население употребляет в пищу много рыбы. В районах с высоким местным загрязнением суточное поступление ртути может превышать 300 мкг, и именно такие уровни привели к вспышкам отравления метилртутью в Ираке и

Японии. По рекомендациям ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения) в организм человека не должно попадать с пищей более 3,3 мкг метилртути на 1 кг массы тела за неделю. Средние контрольные (допустимые) значения общей ртути индикаторных средах человека, согласно ВОЗ, следующие: цельная кровь – 8 мкг/л; волосы – 2 мкг/г; моча – 4 мкг/л; плацента – 10 мкг/г сырой массы.

2. Из глубины веков...

Ртуть и ее соединения известны человеку с глубокой древности. Уже тогда было установлено, что при перегонке самородной ртути, в большинстве случаев являющейся амальгамой, получается остаток в виде королька золота или серебра. На основании этого делался вывод, что ртуть при нагревании превращается в благородные металлы, и она есть не что иное, как *argentum vivum* («живое серебро»). Средневековая алхимическая мысль даже дошла до изречения: *Maro tingerem, si Mercurius esset* (если бы море состояло из ртути, я превратил бы его в золото)! Долгое время золото было своеобразным «маяком» для человеческой цивилизации. «Золото, - писал Христофор Колумб, – это совершенство. Золото создает сокровища, и тот, кто владеет им, может совершить все, что пожелает, и способен даже вводить человеческие души в рай!». И нужно сказать, что ртуть сыграла огромную практическую роль в этих устремлениях человека: в течение многих веков амальгамация была основным способом получения благородных металлов, на что истрачены десятки, может быть, сотни тысяч тонн ртути. Самая известная «золотая лихорадка» последних лет, охватившая бассейн Амазонки, по-прежнему поглощает огромные количества «живого серебра», также как и много лет назад, отравляя огромные территории.

Многие произведения живописи, прикладного искусства, архитектуры прошлого не мыслимы без участия ртути – киноварные краски в иконописи и живописи, техника огневого золочения, златотканое шитье, золотые купола русских церквей и соборов, наконец, известное всем слово «миниатюра» (от лат. «*miniūm*» - сурик, киноварь). Мы обнаруживаем киноварную краску на древнерусских иконах, на фресках Софийского собора в Киеве, Благовещенского и Успенского соборов в Московском Кремле. Рубенс на своих картинах усиливал колорит обнаженного тела с помощью больших количеств киновари. Старинные научные трактаты на тибетском и монгольском языках, санскрите, манускрипты на пальмовых листьях, серебряных и золотых пластинах, шелковых тканях написаны смесью измельченных в порошок киновари, золота, серебра, жемчуга и бирюзы. Многие древнерусские грамоты «писаны киноварью». Наконец, ртуть «причастна» к организации и проведению первого в мире международного научно-технического симпозиума. В 1779 г. в Венгрии собрались специалисты горного дела из Европы и испанских колоний в Америке, чтобы обсудить проблемы амальгамации золотосодержащих руд.

В истории использования ртути как в знаменитых венецианских зеркалах (изготавливаемых, кстати, с помощью ртути) отражена жизнь человечества. История эта началась несколько тысячелетий назад...

2.1. Исторические районы добычи и применения ртути

Первое письменное упоминание о ртути принадлежит Аристотелю и относится примерно к 350 г. до н. э. Археологические находки показывают, что ртуть и киноварь стали известны человеку намного раньше. Киноварная краска применялась на территории нынешней Турции уже в 8 тыс. до н. э. В Европе, в Сербии, первые разработки киновари относятся к 8-3 тыс. до н. э. Киноварные месторождения Италии были известны финикийцам (за 3000 лет до н. э.) и разрабатывались этрусками (800 лет до н. э.). В 4 тыс. до н. э. киноварь добывалась в юго-восточных провинциях современного Китая. Ртуть и кино-

варь были известны в древнем Египте в 3 тыс. до н. э., а в 16-15 вв. до н. э. маленький сосуд, наполненный ртутью, служил здесь амулетом. Недавно в России на алтайском плато Укок в захоронениях пазырыкской культуры, существовавшей около 2,5 тыс. лет назад, были обнаружены мумии. Анализ установил в бальзамирующих веществах значительные количества ртути, а золотая фольга, найденная здесь же, изготовлялась не путем примитивной прокатки золотых самородков, а с использованием амальгамирования!

Латинское название ртути – «Hydrargyrum» («жидкое серебро») – дал древнегреческий врач Диоскорид, который в 70-е гг. н. э. написал труд «О лекарственных средствах», где упоминается ртуть и способы ее получения из киновари и очистки путем перегонки. Современное слово «киноварь» происходит от греческого κίναβαρι (χ'υναβα'ρι) – красная краска, «кровь дракона», но имеет долгую историю, которая прослеживается от индийского или персидского слова «циннобер», также означающего «кровь дракона» из-за красного цвета минерала. Полагают, что под названием «красная краска» киноварь упоминается в Библии, в Книге Пророка Иеремии. Сведения о ртути и киновари, об их добыче и использовании мы находим в произведениях Феофраста, Витрувия, Страбона, Павсания, Петрония. Плиний Старший, живший в 1 в. н. э., называл ртуть ядом для всех вещей: «В серебряных жилах находится также камень, из коего истекает жидкость, никогда не застывающая, называемая живым серебром, ртутью. Она есть яд для всех вещей. Она разъедает и разрывает сосуды с ужасным изгрызением. Все на ней плавает, кроме золота, которое одно к себе притягивает».

В 7 в. до н. э. ассирийские ремесленники применяли амальгамирование для золочения металлических поверхностей. Несколько позже этот способ стал известен грекам. Они же организовали в 4 в. до н. э. в Эфесе (Малая Азия) мастерские по производству киноварной краски. Позднее римляне перенесли это производство в Рим. Надписи во дворце древнеперсидских царей Ахеменидов (6-4 вв. до н. э.) в Сузах говорят о том, что киноварь доставляли сюда с ртутных месторождений, расположенных на территории современных Узбекистана и Таджикистана. На самом крупном и ныне действующем месторождении ртути этих мест – Хайдаркане - обнаружены древние отвалы горных пород, светильники и реторты для обжига ртутных руд, а в выработках найдены скелеты погибших здесь рабов-смертников. В Индии в первые века нашей эры центр добычи киновари находился в Дардистане в Кашмире. Известны древние разработки ртути в Африке.

В Европе, начиная с середины I тыс. до н. э., центром добычи и производства ртути стала Испания, где в Кастилии, в провинции Сьюдад Реаль, на северном склоне Сьерры-Морены, расположено самое крупное и самое знаменитое в мире ртутное месторождение – Альмаден. Его первыми разработчиками были, видимо, еще финикийцы. Греки в 5 в. до н. э. получали отсюда киноварь и металлическую ртуть; позднее, во времена Рима, из Испании ежегодно вывозилось до 4-4,5 т металла. Много лет спустя, в XII в., арабский путешественник Идриси так описывал добычу ртутной руды и получение ртути в Альмадене: «На руднике работало свыше 1000 человек. Одни спускались в шахту и рубили горную породу, другие доставляли дрова для выжигания минерала, третьи изготовляли тигли для плавки, сосуды для дистилляции и, наконец, четвертые обслуживали печи. Я видел эти разработки и узнал, что дно рудника лежит на глубине в 250 человеческих ростов под землей».

К началу 16 в. на карте Европы появился еще один ртутный центр – месторождение Идрия в Крайне, открытое в последние годы 15 в., и где уже в 1535-1571 гг. добывалось до 56 т ртути ежегодно. Несколько раньше (в 1410 г.), чем Идрия, были открыты ртутные месторождения в Рейнском Пфальце, которые во второй половине XVIII в. принадлежали (после Идрии и Альмадена) к наиболее значительным в Европе; максимум добычи приходился на 1770-е гг. Небольшие месторождения киновари в средние века эксплуатировались в Австрии, Германии, Италии, Франции.

Киноварь была известна жителям Америки задолго до прихода испанцев и примерно с 4-3 вв. до н. э. использовалась для получения ритуальных красок. Крупнейшее в Юж. Америке месторождение ртути – Уанкавелика - было открыто в 1566 г. и практически

сразу же здесь начались ее активная добыча и производство. В 16-18 вв. ртутные руды разрабатывались также на территории современной Мексики. В середине 19 в. были открыты и начали разрабатываться крупные ртутные месторождения в США.

Промышленная добыча киновари в России началась в 1759 г. на Ильдиканском месторождении в Забайкалье, расположенном в 30 км к северо-западу от знаменитого Нерчинского завода, и продолжалась, в небольших объемах, до 1853 г. В середине 1880-х гг. добыча и производство ртути начались в Никитовке, что почти сразу же вывело Россию в число основных мировых производителей этого металла. В горных выработках Никитовки были обнаружены древние горнорудные инструменты - кайлы и молотки, сделанные из камня, что указывает на существование здесь древнего промысла.

На протяжении тысячелетий главный минерал ртути - киноварь - широко применялся для изготовления краски. Сорок пять веков назад краски из киновари и йодистой ртути использовались живописцами древнего Египта. Киноварной краской покрывались статуи богов в греческих и римских храмах. На древнерусских иконах киноварью делалась поддурьянка лица. Киноварная краска сохранилась на фресках соборов Новгорода, Киева, Москвы, на картинах художников Возрождения. Существование золототканой промышленности также немыслимо без ртути. В средние века она была развита в Средней и Малой Азии, Индии, Персии, Египте, Византии, Италии, Испании, на Среднем и Ближнем Востоке. Основа для золотой нити была льняной, на которую накручивалось покрытие золотой амальгамы.

Еще одна группа замечательных произведений прикладного искусства создавалась с использованием так называемой техники «огневого золочения», или «золотой наводки», которая напоминает технику офорта. Сначала медную пластину покрывают лаком, после чего рисунок процарапывают острым инструментом. Очищенные от лака места травят кислотой. Затем приступают к нартучиванию и золочению травленого рисунка. Вначале растворенное в ртути золото непрочное держится на пластине, но при ее нагревании, входящая в состав амальгамы ртуть испаряется, и золото проникает во все очищенные травлением поры меди, прочно соединяясь с ней. Этот способ золочения меди был известен в Риме, откуда он унаследован Византией и затем Киевской Русью. До наших дней сохранились произведения прикладного искусства, выполненные техникой огневого золочения, например, знаменитые ворота собора в Суздале, созданные в 12 в. На Руси с помощью золотой наводки осуществлялось золочение куполов церквей: поверхность медных листов очищали от жира, шлифовали, покрывали амальгамой; затем нагревали до тех пор, пока ртуть не испарялась, а на листе оставалась тонкая пленка золота.

Для добычи золота из руд и золотого песка в промышленных целях амальгамация была введена в Боснии в конце I в. н. э., затем нашла широкое применение в Испании, в Юж. Америке и в измененном виде находит применение до сих пор. На протяжении многих веков этот способ извлечения золота при его добыче был одним из ведущих в мире. Именно он использовался во времена знаменитых золотых лихорадок в Северной Америке, описанных Б. Гарттом и Дж. Лондоном. Этот способ широко применяется современными золотоискателями-одиночками в бассейне Амазонки и других районах.

Как известно, самое раннее определение металла было дано М.В. Ломоносовым: «Металлом называется светлое тело, которое ковать можно. Таких тел находим только шесть: золото, серебро, медь, олово, железо и свинец». Ртуть выпадала. Такое представление существовало до тех пор, пока в 1759 г. в Петербурге М.П. Брауну и М.В. Ломоносову не удалось заморозить ртуть в смеси снега с концентрированной азотной кислотой и получить ее в виде светлого шарика. Твердая ртуть была ковкой и оказалась металлом.

2.2. Ртуть и золото алхимиков

Письменная история алхимии насчитывает не менее пятнадцати столетий и охватывает, по словам В.Л. Рабиновича, время «от позднеэллинистических рецептурных сво-

дов, толкующих о металлах, до пророческих грез Парацельса, от Салерно до дальневосточных даосов, от Черной земли египетской до алхимиков Оксфордской школы. Сотни тысяч трактатов, десятки тысяч подвижнических, мученических судеб. Тысячи ученых книг, призванных запечатлеть в веках историю алхимии». Следует помнить, что в алхимической литературе «ртуть» понималась не только в современном – химическом – смысле этого термина, но и как «философская ртуть», как некая субстанция, «общее начало».

Эллинистические писатели называют основателем алхимии Гермеса Трисмегиста (т. е. трижды великого). Это мистическая личность, отождествляемая также с одним из главных египетских богов (Пта, Тот). Гермесу приписывается множество сочинений. Выражения «герметическое искусство», «герметическая упаковка» и теперь напоминают о нем. Видимо, именно в Египте впервые возникло «священное искусство» превращения неблагородных металлов в благородные. На это указывает, быть может, самое слово «химия». Согласно Плутарху, обитатели Египта вследствие черноты своего материка были названы хемы (chemi). Склонны также считать вместе с Зосимой, самым известным алхимическим писателем 4 в., производить слово «химия» от имени Хемеса, якобы составившего первую книгу по химии. Между прочим, в одном месте Зосима описывает, как накаленная ртуть с серой соединяются в киноварь, которая образует черную массу, при возгонке приобретающую красную окраску. Если же нагреть киноварь с известными примесями в закрытом сосуде, то из нее появляется в виде «серебряной», или «божественной воды» ртуть. Это страшно ядовитая, неустойчивая и жару пневма, теряющая при охлаждении «свой легкий полет» и осаждающаяся на крышке сосуда в виде капель. Возможно, что именно такие взаимопревращения ртути и киновари послужили основной для возникновения мысли, что посредством особой обработки из неблагородного металла может быть получен благородный. Знакомство с веществами (в частности, с ртутью), видоизменяющими поверхность металлов, вело к поискам средства, способного производить любые видоизменения. Так возникло учение о «философском камне», обладающего многогранными свойствами, главные из которых: превращать металлы в золото и серебро, производить драгоценные камни, сохранять телесное здоровье.

Не надо думать, что алхимик – это лишь шарлатан, преследующий сугубо корыстные цели. Прежде всего, желающий проникнуть в тайны алхимического искусства, общается в дошедших до нас отрывках сочинений Зосимы, должен был предварительно исполнить ряд нравственных требований. Он должен был быть чист душою и свободен от корысти, погружаться всем своим существом в избранный предмет. Успеха мог ожидать лишь стремящийся к познанию, но никак не невежественный и особенно руководимый нечистыми помышлениями. Дальнейшее условие заключалось в избрании «надлежащего времени и счастливых мгновений». Чтобы добиться их, требовались не только заклинания, колдовские средства и молитвы, но также содействие планет. Важнейшая идея алхимии заключалась в том, чтобы осуществлять трансмутации в согласии с тенденциями, заложенными в веществе природой, а не наперекор ей. Человек и природа едины! – считали алхимики. Нарушение законов природы есть и нарушение человеческих законов. Разрушение природы есть и разрушение человека. Это чрезвычайно важные выводы, к которым пришли алхимики, а достижения в области химической практики – созданные ими аппараты, открытые вещества и реакции – успешно использовались потом в ремесленной химии, а затем в экспериментальной и теоретической химии.

Развитое Зосимой учение о влиянии планет на удачу «священного дела» было в 5 в. трансформировано в целую систему Олимпиодором. Возможно, что именно он связал каждый из семи металлов с планетами, известным древним также лишь в священном числе семь. Светило обозначалось тем же знаком, что и соответствующий ему металл. Таким же образом распределялось 12 известных тогда драгоценных камней по 12 знакам зодиака (см. таблицу). В этой системе ртуть так тесно ассоциируется с Меркурием (планетой и божеством), что в средние века ее часто называли «меркурием» (что сохранилось в ряде современных языков). Серый цвет уместен для ртути, а воздушная акробатика объясняет сравнение с ласточкой – быстрой и подвижной, как ртуть. Возникновение ассоциации

Меркурия с агатом остается загадкой. Астрологический символ этой планеты похож на символ Венеры, но увенчан лежащим полумесяцем. Иногда считается, что это стилизованное изображение кадуцея, геральдического жезла Гермеса.

Планета	Металл	Цвет	Камень	Животное
Солнце	Золото	Желтый	Топаз	Лев
Луна	Серебро	Белый	Хрусталь	Собака
Венера	Медь	Зеленый	Изумруд	Голубь
Меркурий	Ртуть	Серый	Агат	Ласточка
Марс	Железо	Красный	Рубин	Лошадь
Юпитер	Олово	Синий	Сапфир	Орел
Сатурн	Свинец	Черный	Оникс	Крокодил

В конце 11 в. в Толедо была основана школа, где арабские рукописи переводились на латынь и изучались. В них, в частности, утверждалось, что металлы состоят из ртути и серы. В течение тысячелетий они «дозревают» в недрах Земли. Алхимик же должен осуществить эти процессы в течение нескольких дней. К 13 в. алхимическое искусство процветало во Франции, Германии, Англии. Свое дальнейшее развитие оно получило в трудах Раймунда Люллия, или вернее в сочинениях, ходивших в то время под его именем, и нашло особенно много легковых последователей в 14 в., выразившись в учении о мультипликации (умножении), согласно которому, философский камень превращает тысячекратное количество ртути в первичную материю, в *materia prima*. И это превращение может повторяться много раз, пока наконец после известного ослабления преобразующей силы *materia prima* тысячекратное количество ртути не превращается в чистое золото. Расцвет алхимии продолжался вплоть до 17 в.

В средние века было немало умельцев, для которых ртуть являлась не только «бесплотной материей», но и вполне земным веществом, способным принести немалые материальные выгоды. Например, для разных мошеннических проделок устраивали весы, в пустом коромысле которых помещали немного ртути: если надо, чтобы золото оказалось легче, то заставляют ртуть потечь в сторону разновесов. Ртуть широко использовалась для подделки золота, тем более что методов было достаточно много. Самый надежный таков: «медь слабо нагреть с вязким раствором золота в ртути до того, чтобы ртуть испарилась, и образовался тонкий слой золота на меди». Операция повторяли несколько раз, чтобы подделка могла быть принята за золото при проверке ее на пробирном камне. Фальшивые монеты гуляли в средние века по всей Западной Европе и арабскому Востоку. У Бируни встречаем термин «музаббакат», означающий фальшивые дирхемы, покрытые ртутью. В указе царя Алексея Михайловича от 20 января 1664 г. говорится, что в «Москве и в разных городах объявляются медные деньги портученые», т. е. натертые ртутью.

В 20 в. у Гермеса Трисмегиста нашлись последователи. Так, в 1924 г. в научном журнале «Naturwissenschaft» появилась сенсационная статья немецкого профессора А. Мите, сообщившего, что ему удалось, наконец, получить небольшое количество золота в ртутной лампе. Пресса всего мира под огромными заголовками писала об этом открытии и предсказывала возможные его последствия для мировой валюты. Открытием Мите заинтересовались электротехнические концерны, а сам он сделал патентную заявку на свой процесс и даже установил в лаборатории мемориальную доску, чтобы оповестить следующие поколения о месте и дате первого превращения ртути в золото! В конце концов, выяснилось, что из 1,52 кг ртути, очищенной вакуумной перегонкой, после 107-часового непрерывного горения дуги длиной в 16 см, при напряжении от 160 до 175 В и токе в 12,6 А Мите получил 0,08 миллиграмма золота. Но это было не искусственное, а самое «обычное» золото, которое присутствует не только в ртути, но даже в воздухе.

Тем не менее из ртути действительно можно получить золото. Так, в 1940-х гг. американские физики получили крошечный кусочек искусственного стабильного золота,

облучая природную ртуть замедленными нейтронами в ядерном реакторе. Подсчитано, что таким способом из 50 кг ртути можно «изготовить» 74 г золота при облучении исходного продукта в ядерном реакторе в течение 4,5 лет. Затем потребуются значительные усилия на очистку его от радиоизотопов. Так что пока безработица разведчикам золотых месторождений не грозит. С научной точки зрения интерес, безусловно, представляет присутствие в природной ртути радиоизотопов, наличие которых наряду со стабильными изотопами свидетельствует о том, что она, по-видимому, не закончила свое развитие как элемент. В ней постоянно идут ядерные процессы превращения одних изотопов в другие. Как элемент ртуть отличается от золота наличием лишнего электрона на внешней орбите. Один из ее изотопов в природных условиях способен соединять этот электрон с протоном ядра, тем самым превращаясь в стабильный изотоп золота. Полагают, что часть земного золота – это продукт эволюции ртути как элемента. Отсюда становится понятным постоянное присутствие в повышенных количествах золота в ртутных месторождениях, а ртути – в золотых.

2.3. Лекарство или яд?

Самородную ртуть и киноварь в лечебных целях начали использовать в Китае и Индии уже в 4-3 тыс. до н. э. Известно, что китайцы применяли их для лечения проказы. Древнейшие даосские тексты (I в. до н. э.) упоминают киноварь в качестве средства для обеспечения долголетия. Так, один правитель «принимал киноварь внутрь в течение трех лет, после чего покрылся легкой пылью божественной киновари. Принимая ее в течение пяти лет, он приобрел способность летать». Некто Чэ Фу умел изготавливать ртуть и очищать киноварь, которую принимал с селитрой: после тридцати лет такого режима он сделался похожим на подростка, его волосы были совсем красными.

Вера в магические свойства ртути как целебного вещества была чрезвычайно велика. Один из самых знаменитых алхимиков Китая Баопу-цзы (3-4 вв.) утверждал: если смешать три фунта киновари и фунт меда и высушить эту смесь на солнце, пока не получится пилюли величиной с конопляное семечко, то стоит принять в течение года десять таких пилюль – и седые волосы потемнеют, на месте выпавших зубов вырастут новые и т. п.; если же принимать их и дальше, обретишь бессмертие. Тысячу лет спустя Марко Поло видел в Индии людей, которых зовут куйгуи (это, видимо, йоги); живут они дольше других, от полутора до двухсот лет, но крепки здоровьем, в монастыре все дела, все службы исполняют, словно как юноши. «Чудным покажется вам, – рассказывает Поло, – что они едят: принимают они ртуть с серою; питье делают из этой смеси и говорят, что оно им прибавляет жизни; чтобы дольше жить, принимают то питье с детства. Кто долго живет, тот принимает это питье с серою и ртутью». В 17 в. французский врач и путешественник Ф. Бернье писал, что в Индии есть «весьма странные персонажи, они без конца кочуют с места на место; эти люди умеют столь искусно готовить ртуть, что одна-две пилюли, принимаемые по утрам, возвращают телу здоровье и укрепляют желудок». В арабских медицинских трактатах 9-11 вв. ртутные мази рекомендуются в основном как средство от укусов различных насекомых, ртутный эфиоп (черный сульфид ртути), киноварь и сулема – для лечения кожных заболеваний.

В средние века европейские алхимики обращаются к другой, не менее важной задаче, чем создание золота и эликсира бессмертия, – к производству средств для лечения различных болезней. Начинается век медицинской химии. Главным представителем ее был Парацельс, критиковавший современных ему лекарей за то, что они в основном заботились о своих доходах, а не о благе пациентов. По его словам, «лучшие из наших известных врачей те, кто приносят наименьший вред. К несчастью, одни отравляют больных ртутью, другие залечивают их слабительным или кровопусканием до смерти». Именно Парацельс заложил основы токсикологии, показав, что яд – химическое вещество с определенной структурой, от которой зависит его токсичность, а от лекарства он отли-

чается только величиной дозы. Парацельс впервые указал на терапевтическую ценность порошка из киновари при лечении кожных язв, в том числе сифилиса. Современную каломельную мазь для лечения сифилиса, как известно, изобрел И.И. Мечников.

Уже с раннего средневековья в европейской медицинской практике широко применялись каломель (в основном, как слабительное), белый преципитат, ртутные мази; сулема с давних пор использовалась для дезинфекции. Универсальными целительными средствами считались соединения сурьмы с ртутью. В пьесе Шедуэлла «Виртуоз», популярной в Европе в 17 в., среди основных товаров, входивших в ассортимент парфюмерной лавки того времени, названы ртутные белила для лица и «всевозможные снадобья из ртути», использование которых позволит «сохранить вашу красоту или вернуть утраченную». В начале 18 в. ртутные мази разносились по Европе многочисленными бродячими торговцами и шарлатанами. С 1819 г. при пломбировании зубов стали использовать серебряную амальгаму.

Ртуть и ее соединения – неотъемлемый атрибут русской народной медицины. Известны многочисленные рецепты лекарственных средств, использовавшихся в народной медицине и основанных на ртути и ее соединениях. В литературе описаны случаи, когда при завороте кишок больному вливали в желудок до 200-250 г металлической ртути. Считалось, что она благодаря своей тяжести и подвижности должна была «пропутешествовать по хитросплетениям кишок и расправить своей тяжестью их перекрутившиеся части». В одном из произведений русского писателя А.Ф. Вельтмана мы читаем: у героя «явные признаки золотухи; и вот для укрепления его пасочной (т. е. лимфатической) системы и волокон вливали в него насильно то желудковый кофе, то услажденную ртуть, то ассафетиду». Подобная «лечебная практика» часто приводила к тяжелым последствиям. В 1924-1925 гг. в СССР было зарегистрировано 963 смертельных исхода от бытовых отравлений сулемой.

На рубеже 19 и 20 вв., согласно известному словарю Брокгауза и Ефрона, ртуть в медицине в основном употребляли в виде: 1) сулемы - в хирургии в качестве антисептического и дезинфицирующего средства при операциях, перевязках, кожных страданиях (веснушках, угрях и др.); 2) каломели - внутрь в качестве послабляющего, мочегонного, при болезнях сердца; наружно - в виде присыпки при сифилитических папулах, глазных страданиях; 3) серой мази при сифилисе, в качестве противовоспалительного.

С токсичными свойствами ртути древний человек познакомился не только на «производстве», но и непосредственно в быту. Тем более что возможностей, видимо, было предостаточно, о чем свидетельствуют следующие примеры. Так, Петроний Арбитр (1 в. н. э.) сообщает о своеобразном и, видимо, довольно распространенном способе использования киновари в жилых помещениях: «пол посыпали окрашенным шафраном и киноварью, опилками и - чего я раньше нигде не видывал - толченой смолой». Толченая смола на полу – необычное явление; рассыпанная киноварь, судя по тексту, событие заурядное. В конце 9 в. в тулунидском дворце в Египте был устроен пруд, наполненный ртутью, площадью 50 x 50 локтей. По углам пруда высились столбы из массивного серебра, на которых при помощи серебряных колец были укреплены шелковые шнуры, державшие надутый воздухом кожаный матрац; на этом ложе обычно спал повелитель. Живший в то время египетский историк Макризи пишет: «Одна из великолепнейших мыслей царственного ума! Как это было чудесно, когда лунными ночами сияние луны сочеталось со сверканием ртути!». Марк Твен сообщает об одной древней индийской церемонии, которую лично наблюдал: «Приветствуя отца, сын почтительно притрагивается к его лбу специальной серебряной палочкой; конец ее намазан киноварью, и она оставляет на лбу крошечное пятнышко». Известный авантюрист, называвший себя графом Калиостро, использовал соединения ртути в процедуре посвящения избранных в свое египетское масонство. Новичок среди прочего принимал ванну с каким-то весьма крепким ядом вроде сулемы, потому что у него появлялись признаки отравления: судороги, лихорадка, дурнота и, сверх того, выпадали волосы и зубы - признаки, напоминающие ртутное отравление. В брошюре «О золочении меди и бронзы», изданной в 1818 г. в Санкт-Петербурге, гово-

рится: «Едва ли есть другое искусство, более опасное для жизни и здоровья людей, как золочение меди и бронзы. Вредные испарения, происходящие при разных операциях золочения, а особливо ртутные пары, не только производят дрожание в членах, но часто рождают неизлечимые болезни и преждевременную смерть. Замечено, что работники, занимающиеся сим мастерством, редко достигают возмужалого возраста, а часто погибают во цвете лет». При золочении купола Исаакиевского собора в Петербурге 60 рабочих погибло, отравившись парами ртути. В 1810 г. на английском корабле более 200 человек также отравились парами ртути, вылившейся в трюме из бочки. В Англии краска для снятия отпечатков пальцев, содержащая ртуть, была причиной отравления криминалистов.

На токсичность ртути и ее соединений прямо указывается во многих средневековых научных трактатах. При этом совершенно правильно было установлено, что наиболее вредное воздействие на человека оказывают пары металлической ртути и некоторые ее соединения. Авиценна, относя этот металл к минеральным ядам, писал: «Что касается живой (т. е. металлической ртути), то большинство из тех, кто ее пьет, не страдает от нее, ибо она выходит низом такая, как есть. Но у того, кому вольют живую ртуть в ухо, появляется сильная боль и помрачение ума, и это иногда доводит до спазмов. Больной чувствует в той стороне большую тяжесть, и дело нередко доходит до падучей и сакты (апоплексический удар), так как холодность, дрожание, тяжесть ртути раздражает мозг. Что же касается убитой (т. е. соли ртути) и возогнанной (пары) ртути, то она нехороша, вредносна и разрывает ткани. От нее возникают страдания, похожие на те, что возникают у выпившего окиси свинца - рези, заворот кишок, испражнения кровью, тяжесть в языке и тяжесть в желудке. У больного распухает тело и запирается моча». «Ртутные пары, - продолжает Авиценна, - вызывают паралич, трясение и переплетение органов. Ртутный дым лишает слуха и зрения. Ртуть, подвергнутая возгонке, убивает, так как резко отрывает соки. Действенное лечение от этого - питье молока и рвота. Ртуть убивает мышей, а от ее дыма бегут насекомые и змеи».

Королевский ревизор Солорсано, изучавший в 1616-1619 гг. условия труда на ртутных рудниках в Уанкавелике, сообщал испанскому монарху: «Яд проникает прямо в мозг, ослабляя все члены, вызывая непрекращающееся дрожание, так что рабочие умирают, как правило, за четыре года работы». Ртуть, использовавшаяся на знаменитом месторождении Потоси для извлечения серебра методом амальгамации, отравляла не меньше, чем ртутные пары в Уанкавелике. От нее у горняков выпадали волосы и зубы, дрожало все тело. Агрикола в середине 16 в. описал процессы получения ртути из киновари с изложением особых мер предосторожности против возможных отравлений ее парами. Более обстоятельно сведения по отравлению ртутью ремесленников в начале 17 в. излагаются в труде зачинателя учения о профессиональных заболеваниях Б. Рамаццини. Об использовании сулемы в 17 в. для приготовления «адских зелий» с целью устранения неудобных людей можно прочесть у Александра Дюма в его «Истории знаменитых преступлений». Многим известен персонаж книги Кэрролла «Алиса в стране чудес» Хаттер, чье не совсем адекватное поведение объяснялось его профессиональным занятием - он был шляпником и подолгу контактировал с нитратом ртути, применявшимся при изготовлении войлочных шляп (особенно широко в 18-19 вв.). Мастера получали ртутные отравления, вплоть до развития слабоумия («ненормальный как шляпных дел мастер»).

Общие представления о токсичности ртути к началу 20 в. отражены в словаре Брокгауза и Ефрона, где сообщается, что отравление ртутью может быть острое, характеризуется сильными болями и расстройствами (слюнотечение, кровавая рвота, поносы) пищеварительного канала, почек, упадком сердечной деятельности и смертью, и хроническое (у рабочих, изготавливающих зеркала, термометры) - характеризуется поражением полости рта (меркуриальный стоматит - слюнотечение, опухание и изъязвление десен, запах изо рта), поносами, болями в животе, заболеваниями нервной системы (дрожание), слабостью, болями в костях, общим истощением (меркуриальная кахексия).

3. Ртуть и экологические проблемы

На кораблях Магеллана, отправившихся в знаменитое путешествие, среди товаров присутствовало 20 кинталей (1 кинталь = 46 кг) металлической ртути и 30 кинталей киновари. На островах Пряностей за 55 фунтов киновари или за 55 фунтов ртути испанцы получали один бахар (от 200 до 240 кг) гвоздики. Это был первый случай столь дальней техногенной, т. е. обусловленной деятельностью человека, миграции этого металла. Через четыре столетия техногенная миграция ртути станет для человечества глобальной проблемой.

3.1. Загрязнение окружающей среды ртутью

Ртуть является одним из самых опасных загрязняющих окружающую среду металлов. Практически во всех странах она входит в «черные списки» химических веществ, подлежащих особому экологическому и гигиеническому контролю. Ртутьсодержащие отходы по степени токсичности относятся к I классу опасности, представляя собой, по образному выражению, химическую бомбу замедленного действия. Ртуть уже отметилась несколькими экологическими трагедиями, наиболее известными из которых являются массовые заболевания и гибель людей в Японии в районе Минаматы и в Ираке.

Минамата - небольшой городок на берегу одноименного залива, омывающего юго-западный берег острова Кюсю в Японии. Всему миру этот город стал известен трагическими событиями, связанными с отравлением людей ртутью. В то время сами японцы говорили, что на страну обрушилась третья атомная бомба, сброшенная собственной промышленностью. Все началось с кошек. Однажды, в 1953 г., жители небольших рыбацких деревень, расположенных в заливе Минамата, увидели много «танцующих» кошек, которые непрерывно визжали и часто бросались в море. Несколько позже это было отмечено у птиц, свиней, собак, рыб; многие из них погибли. Подобные «танцы» у животных продолжались вплоть до 1960 г. Но наибольший страх вызвало заболевание людей, причем сразу по несколько человек в одной семье. Рыбаки, полагая, что они заболели какой-то «дурной» болезнью, хранили свою трагедию в тайне. Это продолжалось до 1956 г., пока миссис Ватанабе не привела свою шестилетнюю дочь Матсуно в медицинскую клинику. Врачи пришли к выводу, что у девочки поражена нервная система, однако причину заболевания они установить не смогли, но дали название этой болезни – болезнь Минамата. Буквально неделю спустя эта болезнь поразила еще одного ребенка Ватанабе, а в поликлинику стали обращаться новые пациенты. Болезнь начинала приобретать характер эпидемии. В 1958 г. у Ватанабе родился третий ребенок, еще в большей степени пораженный болезнью. С декабря 1953 г. по сентябрь 1960 г. был выявлен 121 больной человек, из которых 46 умерло. История с загадочной болезнью получила широкую огласку. Начальные этапы ее представляют настоящую детективную историю. Долго не могли понять причину заболевания, но сразу же попытались связать его с влиянием расположенных здесь промышленных предприятий. Однако представители заводов препятствовали проведению исследований, отказывались предоставить информацию о технологии производства. Но в конце концов истина была найдена. Дело было в следующем.

В городке Минамата располагались химические заводы, являющиеся филиалом крупного концерна «Тиссо». Один из них производил винилхлорид, другой – ацетальдегид, причем в качестве катализатора использовалась ртуть. Сточные воды заводов сбрасывались в залив Минамата. Они содержали ртуть, не только неорганическую, но и метилртуть, образующуюся в ходе технологических процессов. Всего в залив поступило более 300 т ртути, подавляющая часть которой накопилась в донных отложениях. Ртуть накапливалась в воде и донных отложениях, включалась в морскую пищевую цепь, концентрируясь в моллюсках и рыбе. В водной среде начинали активизироваться процессы метилирования неорганической ртути, что еще больше увеличивало опасность. Большин-

ство жителей города и окрестных деревень существовала за счет морского промысла, а морепродукты были их основной пищей. Так метилртуть попадала в организм людей (и животных), вызывая страшные отравления, вплоть до смертельных исходов.

В 1954 г. 138 пострадавших человек подали в суд на руководство концерна «Тиссо». Но лишь 20 марта 1973 г. окружной суд Кумамото признал концерн виновным и определил плату за жизнь и потерю здоровья: 18 млн. иен за каждого человека, умершего от Минаматы, и 16-18 млн. иен - за неизлечимого больного. Так мир впервые узнал, сколько «стоит» человек. В этом же году был принят специальный закон о возмещении ущерба пострадавшим. В 1979 г. был вынесен приговор, не имевший аналогов в японском судопроизводстве. Президент концерна и директор филиала в Минамате обвинялись в том, что из-за проявленной ими халатности погибли люди, и приговаривались к 2 годам тюрьмы, а по истечении этого срока - еще к 3 годам условно. В опубликованной японским правительством в марте 1975 г. Белой книге говорится о последствиях трагедии в Минамате: 21990 больных и 494 умерших. В последующие годы на правительственном уровне принимались различные меры, в том числе по полной модернизации заводов. Был создан Институт болезни Минамата, сотрудники которого сегодня занимаются изучением ртутного загрязнения в различных районах мира. Залив Минамата был закрыт для рыбной ловли, в нем долгое время проводились работы, связанные с удалением загрязненных ртутью донных отложений, и велись наблюдения за поведением ртути. Совсем недавно в прессе сообщалось, что после многолетних восстановительных работ с залива был снят «ртутный» карантин. В 1965 г. болезнь Минамата была установлена еще в одном районе Японии, в Ниигате, где также располагался химический завод, использовавший ртуть. Здесь пострадало более 500 человек.

Вспышка массового отравления ртутью в Ираке произошла зимой 1971-1972 гг. Здесь семенное зерно, обработанное метилртутным фунгицидом, было использовано для приготовления домашнего хлеба в сельских местностях по всей стране. Уже в конце декабря 1971 г. в больницу были доставлены первые пострадавшие. Общее число госпитализированных превысило 6000, причем большинство из них поступило в январе 1972 г. В больницах было зарегистрировано более 400 смертельных случаев, обусловленных отравлением метилртутью.

События в Японии и в Ираке инициировали развитие многочисленных исследований по изучению ртутного загрязнения во многих странах. Было установлено, что ртуть поступает в среду обитания не только с выбросами, стоками и твердыми отходами производств, использующих ее в технологических циклах. Она в повышенных концентрациях присутствует в выбросах, сточных водах и отходах многих видов производственной и бытовой деятельности. Ртуть поступает в окружающую среду при сжигании угля, мазута и других нефтепродуктов. Например, поступление ртути в атмосферу при сжигании ископаемого топлива в России оценивается от 10-15 до 60-70 т в год. Существенным источником загрязнения среды обитания ртутью являются предприятия металлургии и цементной промышленности. В свое время в сельском хозяйстве использовались ртутьсодержащие ядохимикаты (прежде всего, гранозан). Ртуть – типичный компонент различных промышленных и бытовых отходов. В районе свалок в окружающей среде всегда отмечаются ее повышенные уровни.

Присутствие ртути в различных отходах обуславливает тот факт, что она – типичное загрязняющее вещество в городских и сельскохозяйственных районах. С этой точки зрения показательное ее распределение в окружающей среде Московского региона. Здесь крупных промышленных предприятий, использующих в технологических процессах значительные количества ртути, практически нет. Исключение составляют Клинский завод термометров, опытное производство ВНИИИ Светотехники в г. Москве и некоторые другие. Естественно, что в их окрестностях постоянно отмечались высокие концентрации ртути в объектах среды обитания. Для нас же интересен тот факт, что из-за наличия множества разнообразных промышленных предприятий и отсутствия утилизации промышленных и бытовых отходов (в лучшем случае они вывозились на свалки), повышенные

содержания ртути встречаются повсеместно на всей территории Московской области и в различных объектах окружающей среды. Несколько примеров.

Как известно, почва, аккумулируя загрязняющие вещества, отражает многолетний эффект воздействия источников загрязнения. Одновременно 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, поступает в жилые и общественные здания. Исследования распределения ртути в верхнем слое почв г. Москвы, выполненные МОМГЭ ИМГРЭ, показали. Что существенная территория города (почти 20% площади) характеризуется очень высокими ее концентрациями, многократно превышающими фоновые уровни. Зоны с содержанием ртути в почвах выше ПДК занимают лишь 0,54% территории города, однако в абсолютном выражении это составляет целых 6 квадратных километров. Все это свидетельствует о высокой ртутной нагрузке на городскую среду и обуславливает необходимость исследований по выяснению детальной структуры зон загрязнения.

Загрязнения ртутью верхнего слоя почв в пределах Москвы (фоновые уровни ртути в почвах Московской области не превышают 0,1 мг/кг; ПДК ртути в почвах 2,1 мг/кг)

Интервалы содержания ртути		Площадь, км ²	Доля от площади города
мг/кг	Кратность ПДК		
Менее 0,5	Менее 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
Более 2,1	Более 1	6	0,54

Формирование зон ртутного загрязнения в Москве связано не только с промышленными выбросами в атмосферу. Хорошо известно, что на предприятиях, в организациях и в быту используется значительное количество ртутьсодержащих изделий и приборов, которые после выхода из эксплуатации очень часто выбрасывались (по крайней мере, до недавних пор) в мусорный бак, а содержащаяся в них ртуть поступала в среду обитания. Так, в Москве ежегодно образуется порядка 7-8 млн. отработанных люминесцентных ламп (ориентировочно в сумме содержащих 0,7-0,8 т ртути), около 250-300 тыс. дугозарядных, бактерицидных и т. п. ламп (еще около 0,2 т ртути), 15-20 млн. гальванических элементов с содержанием ртути от 0,1 до 1% от массы элемента (при средней массе элемента в 50 г, а именно такие батарейки до недавнего времени преобладали в нашей стране, это дает от 1 до 10 т ртути, среднее значение - 5т). В медицинских, научных и производственных организациях и у населения ежегодно из строя выходит значительное количество ртутных термометров. Например, подсчитано, что в Санкт-Петербурге в год выбрасывается порядка 500 тыс. различных термометров, в сумме содержащих около 1 т ртути. Для Москвы эта цифра, видимо, может быть увеличена в 2-2,5 раза (т. е. около 2,5 т ртути). Кроме того, подразделениями Министерства по чрезвычайным ситуациям ежегодно собирается (при различных обстоятельствах) около 1 т металлической ртути. Примерно такое же количество ртути в составе различных изделий (выпрямители, реле, манометры и т. п.) поступает на демеркуризационное предприятие. Таким образом, в сумме получается порядка 10 т ртути в год (это очень большая цифра, практически равная годовому потреблению ртути электротехнической промышленностью нашей страны), потенциально способной рассеиваться в окружающей среде, что, безусловно, до недавнего времени и происходило. Конечно, приводимые цифры во многом ориентировочные и требуют уточнения, которое, однако, может как уменьшить, так и, что не исключено, увеличить их, поскольку многие источники ртути все еще до конца не выявлены.

Огромные количества ежегодно выводимых из строя ртутьсодержащих изделий и приборов в значительной мере обуславливают то, что городские бытовые отходы, вывозимые на свалки или сжигаемые на специальных установках, отличаются особенно высо-

кими содержаниями ртути. Это подтверждается специальными исследованиями, выполненных ИМГРЭ (см. таблицу).

Химические элементы в компостах из твердых бытовых отходов

Город	Комплекс накапливающихся элементов (в скобках приведена степень концентрации элемента в отходах относительно его содержания в природных почвах)
Москва	Hg(750) -Pb(47)-Ag(44)-Sb(35)-Zn(31)-Cu(22)-Bi(22)-Cd(12)-B(6)-W(6)-Sn(4)-As(1,5)
Петербург	Hg(750) -Pb(44)-Ag(33)-Bi(27)-Zn(23)-Cu(16)-Cd(14)-Sb(12)-Sn(7)-W(6)-B(5)-Mo(2)
Минск	Hg(230) -Zn(23)-Bi(23)-Pb(16)-Ag(11)-Sn(6)-Cu(5)-B(5)-Cd(4)-W(3)-Sb(3)-Mo(2)
Алматы	Hg(200) -Pb(65)-Ag(47)-Zn(33)-Bi(30)-Cu(20)-Sn(11)-Sb(5)-B(5)-
Ташкент	Hg(200) -Pb(40)-Ag(40)-Zn(40)-Bi(33)-Cu(27)-Sn(12)-Sb(5)-B(5)-

Ртуть присутствует в промышленных и бытовых сточных водах, о чем свидетельствуют данные о ее распределения в осадках сточных вод, образующихся на общегородских очистных сооружениях (см. таблицу). В повышенных концентрациях она содержится в осадках сточных вод практически всех городов, причем для существенной части городов является ведущим поллютантом. Очень высокие содержания ртути в г. Клину связаны с поступлением на очистные сооружения сточных вод завода по производству ртутных термометров.

Присутствие ртути в осадках сточных вод свидетельствует о ее вероятном поступлении в реки, в которые сбрасываются сточные воды. Действительно, изучение распределения ртути в отложениях рек показывают, что она является ведущим поллютантом рек Московской области (см. таблицу). Сами осадки, вывозимые на свалках или использующие для засыпки территорий, также загрязняют окружающую среду.

Высокие содержания ртути в донных отложениях рек в зоне влияния животноводческих комплексов в существенной мере, видимо, связаны с влиянием вышедших из строя люминесцентных ламп.

3.2. Ртутьсодержащие отходы потребления и их утилизация

Постоянное присутствие и высокие содержания ртути в городской среде и в различных видах отходов в существенной мере связаны с использованием и периодическим выходом из строя разнообразных ртутьсодержащих изделий (люминесцентные и ртутные лампы, термометры, гальванические элементы, различные приборы и т. п., многие из которых можно увидеть на приводимых фотографиях).

В зависимости от технологии и типа в каждой люминесцентной или специальной ртутной лампе, особенно широко используемых в нашей стране, содержится от 20 до 300 мг ртути, в наиболее распространенных типах – от 60 до 120 мг, а в некоторых лампах ее количество достигает 350-560 мг. В компактной люминесцентной лампе количество ртути составляет обычно 3-5 мг. Ртутьсодержащие лампы представляют особую опасность с позиций локального загрязнения среды обитания токсичной ртутью. Так, скорость испарения металлической ртути в спокойном воздухе при температуре окружающей среды 20°C составляет 0,002 мг с 1 см² в час, а при 35-40°C на солнечном свете увеличивается в 15-18 раз и может достигать 0,036 мг/см² в час. С отработанными люминесцентными лампами в среду обитания поступают не только ртуть, но и другие поллютанты. Например, по некоторым оценкам, с ежегодно выводимыми из строя в быв. СССР люминесцентными лампами в окружающую среду поступало до 5 т сурьмы, 4 т свинца, 10 т иттрия. В лампах содержатся также алюминий, цинк, ванадий, вольфрам, медь, никель, олово, цинк; выбрасывая отработанные лампы, мы теряем стекло, а также люминофор, который содержит опасные вещества. Так, если в каждой люминесцентной лампе содержится в среднем 5 г люминофора, то с ежегодно выводимыми из строя лампами в России теряется до 500 т этого вещества.

Содержания ртути в осадках сточных вод, образующихся в городах Московской области (по А.И. Ачкасову); фон ртути в речных отложениях 0,01 мг/кг; Кс – степень увеличения ее содержания в осадках сточных вод относительно фона в речных отложениях

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

Значительные количества ртути, как мы уже знаем, попадает в среду обитания при выбрасывании вышедших из строя ртутных термометров. В США, например, таким образом ежегодно теряется 50 т ртути. Во многих странах длительное время значительное количество ртути расходовалось на производство различных химических источников тока (гальванических элементов). В России в начале 1990-х гг. в мусор ежегодно выбрасывалось более 800 млн. гальванических элементов, а с ними около 50 т ртути, 20 тыс. т железа, 15 тыс. т диоксида марганца, 7,5 тыс. т оксида цинка, 5 тыс. т щелочи.

Экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды ртутью, обусловили развитие целой промышленности по производству из ртутьсодержащих отходов вторичной ртути. В 1994 г. в мире из вторичного сырья было получено более 800 т ртути. Особенно быстрыми темпами производство вторичной ртути растет в США, в том числе за счет ее извлечения из отслуживших свой срок ртутных ламп, гальванических элементов, термометров и т. п. Здесь за 1992-1996 гг. производство вторичной ртути увеличилось со 176 до 446 т. Национальная Ассоциация производителей электротехники США вместе с тремя крупнейшими компаниями соответствующего профиля разработали и реализуют национальную программу извлечения ртути из всех видов отработанного ртутьсодержащего оборудования. В стране работают 30 заводов 11 компаний по выпуску вторичной ртути; создано несколько центров по утилизации ртутных ламп. Приняты законодательные запреты на сброс и захоронение ртутьсодержащих отходов. Переработка ртутьсодержащих отходов и производство вторичной ртути развиты также в Японии, Великобритании, Финляндии.

В мировой практике известны физические, физико-химические и химические способы демеркуризации ртутьсодержащих ламп. Первые два основаны на механическом извлечении ртути или ее термической возгонке с последующей конденсацией, адсорбцией или абсорбцией. Химические методы базируются на реакциях окисления-восстановления, обуславливающих перевод ртути в нерастворимые соединения или в со-

единения, легко поддающиеся дальнейшей утилизации. Прилагаются усилия по разработке новых и совершенствованию существующих методов демеркуризации ламп.

Химические элементы, накапливающиеся в донных отложениях водотоков в зонах влияния различных объектов Московской области; Кс – коэффициенты концентрации элементов в отложениях в зонах загрязнения относительно фоновых уровней

Город, водоток,	Комплекс накапливающихся элементов и порядок значений их Кс			
	> 100	100 - 30	30 - 10	10 - 3
Щелково, р. Клязьма.	Ag- Hg	Bi-Zn-Cu-Ni-P	Cd-Sn-Cr	Sr-Pb-Ba-Co
Коломна, Москва-река	-	Ag	Cu	Zn-P- Hg -Pb-Cr-Ni-Ba-Co-F
Дмитров, ручей	-	Hg	-	Pb-Ag-Sr-Ba
Воскресенск, Москва-река	-	Ag- Hg	Cu	Zn-Sr-Sn-P-Pb
Волоколамск, р. Лама	-	Hg -Ag	Bi	Cu-W-Ba-Pb-Zn-P-Sn
Высоковск, р. Вяз	-	-	Ag- Hg -Cu	Zn-Ba-Pb
Карасево, ручей	-	Hg	Ag	Cu-Ba-V-Co
Катуар, ручей	-	Hf	B-Hg	Zn-Zr-Sr-Pb-Ba-Cu
Подольск, р. Пахра	Hg -Ag	Cd-In	Cu-Ni-Pb-Sn-Sb-Se	V-Zn-Cr-Nb-P-W-As-Bi-Sr-Ba
Домодедово, руч. Северный	-	Ag	Cd-Ce	Zn-Se- Hg -Sb-Sn-As-Pb
Бутово, р. Гвоздянка	-	-	Hg	Sn-Ag-Sc-Cr-Ga-P-Pb-Mo
Апрелевка, р. Свинорье	Hg -Ag	Ni	Cd-Sr	Cu
Подольск, руч. Больничный	Hg	Ag	-	Zn-Sr-Pb-Bi-Sc-Ba-Cd
Львовский, р. Петрица	Hg -Ag	Pb-Bi	P-Cu-Zn	Sb-Sn-Ba-Cd-F
Щербинка, руч. Висенский	Ag- Hg	-	Cu	Cd-Zn-Bi-P-Sr-Cr-Ni
Видное, р. Купелинка	-	-	Hg	Zn-Mo-Cu-Sr
Троицкий, р. Десна	-	-	-	Sn-Ag-Mo-
Троицк, р. Оранка	Ag	Cd	Hg	Bi-Cu-Zn-P-Sn-Pb
НИИ связи, р. Незайка	Ag	Bi- Hg	P	Zn-Cu-Cr-Sc-Cd
Аэропорт Домодедово, р. Мура- ниха	-	Ag	Hg	Bi-P-Cu-Mo-Zn-Cr-Ga
Животноводческий комплекс Сосенки, ручей	-	Hg	Ag	Zn-Se-As-Sn-P-Cu-Mo-Cd
Свиноводческий комплекс Куз- нецово, р. Ладырка	-	-	Ag- Hg	Zn-As-Se-P
Агрораион, р. Страдань	-	-	-	Hg -Sn-Bi

В настоящее время ясно, что бесконтрольное обращение с вышедшими из строя ртутьсодержащими изделиями, металлической ртуть и ее соединениями приводит к загрязнению окружающей среды. Особенно серьезные проблемы, создающие прямую угрозу здоровью людей, происходит при загрязнении ртутью производственных, служебных, общественных и жилых помещений. Это потребовало развития специальных технологий и служб, занимающихся демеркуризацией зараженных ртутью объектов. Обычно организации, занимающиеся переработкой ртутьсодержащих изделий, специализируются и на демеркуризации объектов городской среды.

3.4. Демеркуризация объектов городской среды

Проблема загрязнения ртутью жилых и общественных зданий актуальна для любого города. Например, в Санкт-Петербурге ртутное загрязнение обнаружено в 50% школ и 30% детских дошкольных учреждений. Выборочные исследования в Москве показали, что в 15% обследованных школ и детских садов наблюдалось загрязнение ртутью. Видимо, такая ситуация типична и для многих старых строений, особенно больниц, поликлиник, научных учреждений, организаций по ремонту бытовой техники и т. п. В большинстве случаев вторичными источниками загрязнения помещений ртутью являются зара-

женные ей поверхности, различные приборы, мебель, а также наличие микроскопических капелек металлической ртути в пустотах строительных конструкций, межэтажных перекрытиях и т. д. Это определяет необходимость проведения специальных работ, получивших название демеркуризации помещений и объектов городской среды.

Для демеркуризации жилых, общественных и производственных помещений используются механический, химический или термический методы самостоятельно или в совокупности. Выбор метода обычно обуславливается объектом или материалом, подлежащим демеркуризации, и формой нахождения ртути. Поэтому подходы к демеркуризации различных помещений в каждом конкретном случае имеют свои особенности и определяются специалистами. Традиционный механический способ демеркуризации помещений основан на использовании вакуума или амальгамированных медных пластинок в сочетании с гидроструйной или дробеструйной обработкой. При химической обработке применяются различные растворы (перманганата калия, серной кислоты, азотной кислоты, хлорного железа, гипохлорита натрия, а также хлорная вода, раствор хлористого натрия, насыщенный хлором, горячий мыльно-содовый раствор и др.). Термическая демеркуризация осуществляется путем нагрева материалов при заданном режиме температуры, для чего используются горячий воздух, пламя газовых горелок и т.п. в сочетании с откачкой воздуха через сорбенты. В практике работ часто прибегают к совместному использованию двух или даже трех названных методов.

В общем случае в условиях города демеркуризация включает в себя обследование объектов, направленное на выявление источника и интенсивности загрязнения, проведение обработки помещений и предметов, удаление и переработку загрязненных ртутью материалов и продуктов, образующих в ходе демеркуризации.

Понятно, что успех демеркуризационных работ в значительной степени определяется правильным выбором демеркуризационных препаратов, используемых для обработки загрязненных объектов. Эффективность препаратов определяется:

- характером преобразования ртути, т. е. степенью извлечения поллютанта из загрязненных материалов и прочностью его связывания с веществом демеркуризационного препарата;

- агрессивностью демеркуризационных препаратов по отношению к материалам, подлежащих обработке, т. е. препарат, очищая объект от ртути, не должен при этом вызывать разрушение поверхностей (пола, стен и т. д.) и оказывать негативное воздействие на людей;

- свойствами конечных продуктов демеркуризации, т. е. демеркуризационного препарата, уже насыщенного ртутью (его устойчивостью, растворимостью и т. п., что в конечном счете обуславливает их безопасную транспортировку и эффективность последующей утилизации или вторичной переработки).

Справочная литература

Бессонов В.В., Янин Е.П. Эмиссия ртути в окружающую среду при производстве газоразрядных ламп в России. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 59 с.

Бессонов В.В., Янин Е.П. Ртутьсодержащие приборы и устройства: экологические аспекты производства и использования. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 52 с.

Бондарев Л.Г. Микроэлементы – благо и зло. – М.: Знание, 1984. – 144 с.

Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.

Гофман К. Можно ли сделать золото? Пер. с нем. – Л.: Химия, 1987. – 232 с.

Илющенко М.А., Хевен С., Янин Е.П. Мониторинг и оценка загрязнения окружающей среды ртутью в окрестностях города Павлодара // Геохимические исследования городских агломераций. – М.: ИМГРЭ, 1998, с. 59–68.

Какарека С.В., Кухарчик Т.И., Хомич В.С., Янин Е.П. О состоянии и проблемах инвентаризации выбросов ртути в атмосферу // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 12–37.

Карасик М.А. Пары ртути в атмосфере. – М.: ВИЭМС, 1978. – 58 с.

Козловский М.Т., Зебрева А.И., Гладышев В.П. Амальгамы и их применение. – Алма-Ата: Наука, 1970. – 390 с.

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

Макарченко Г.В., Тимошин В.Н., Тиняков К.М., Янин Е.П. «Экотром-2У» – новый технологический мини-комплекс по обезвреживанию и утилизации люминесцентных ламп // Экологические системы и приборы, 2012, № 7, с. 8–12.

Мельников С.М. Техника безопасности в металлургии ртути. – М.: Металлургия, 1974. – 184 с.

Мельников С.М. Металлургия ртути. – М.: Металлургия, 1971. – 476 с.

Метилртуть. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып 101: Пер. с англ. – Женева: ВОЗ, 1993. –125 с.

Неорганическая ртуть. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып 118.: Пер. с англ. – Женева: ВОЗ, 1994. –144 с.

Пугачевич П.П. Работа со ртутью в лабораторных и производственных условиях. – М.: Химия, 1972. – 151 с.

Рабинович В.Л. Образ мира в зеркале алхимии.– М.: Энергоиздат, 1981.– 152 с.

Роговой В.М. Ртутоносные провинции СССР. – М.: Наука, 1989. – 96 с.

Ртуть. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. Вып. 1: Пер. с англ. – Женева: ВОЗ, 1979. –149 с.

Ртуть. Нормативные и методические документы. Справочник. – СПб.: Мониторинг, 1999. – 235 с.

Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

Сауков А.А., Айдиньян Н.Х., Озерова Н.А. Очерки геохимии ртути. – М.: Наука, 1972. – 336 с.

Тимошин В.Н., Тиняков К.М., Макарченко Г.В., Кочуров А.В., Янин Е.П. Пневмовибрационные способы утилизации энергосберегающих люминесцентных ламп // Экономика природопользования, 2011, № 6, с. 67–71.

Федорчук В.П. Геология ртути. – М.: Недра, 1983. – 270 с.

Эбериль В.И., Янин Е.П., Ягуд Б.Ю., Потапов И.И. Ртуть в хлорной промышленности России (прошлое, настоящее, будущее) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2012, № 1, с. 2–80.

Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000. – 180 с.

Элиаде М. Азиатская алхимия. Сборник эссе: Пер. с рум., фр., англ. – М.: Янус-К, 1998. – 604.

Яворовская С.Ф. Меры профилактики при работе со ртутью. – М.: Медицина, 1967. – 27 с.

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

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

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

Янин Е.П. Экологические аспекты производства и использования бытовых химических источников тока // Геохимические исследования городских агломераций.- М.: ИМГРЭ, 1998,с. 113–126.

Янин Е.П. О токсичности и лечебных свойствах ртути (краткий исторический экскурс // Эколого-геохимические проблемы ртути (сборник научных статей).- М.: ИМГРЭ, 2000, с. 161–179.

Янин Е.П. Добыча и производство ртути в СНГ как источник загрязнения окружающей среды // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 38–59.

Янин Е.П. Ртутные термометры: экологические аспекты производства, использования и утилизации. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 55 с.

Янин Е.П. Эмиссия ртути в атмосферу российскими предприятиями черной металлургии. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 16 с.

- Янин Е.П.* Эмиссия ртути в окружающую среду при производстве кокса в России. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 15 с.
- Янин Е.П.* Осадки городских сточных вод как источник поступления ртути в окружающую среду. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 26 с.
- Янин Е.П.* Эмиссия ртути в атмосферу при производстве цемента в России. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 20 с.
- Янин Е.П.* Ртуть в России: производство и потребление. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 38 с.
- Янин Е.П.* Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 24 с.
- Янин Е.П.* Эмиссия ртути в окружающую среду предприятиями цветной металлургии России // Экологическая экспертиза, 2004, № 5, с. 41–101.
- Янин Е.П.* Ртутные лампы как источник загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 2005. – 28 с.
- Янин Е.П.* Ртуть и ее роль в развитии аналитической химии (краткий исторический очерк) // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. Сборник научных трудов. – М.: ИМГРЭ, 2005, с. 184–190.
- Янин Е.П.* Производство, потребление и рециклинг ртути в России // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2006, № 1, с. 45–70.
- Янин Е.П.* Ртутные термометры: опасность для окружающей среды // Экология производства, 2009, № 10, с. 51–53.
- Янин Е.П.* Опыт ремедиации загрязненной ртутью территории (город Марктредвиц, Германия) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2009, № 9, с. 70–95.
- Янин Е.П.* Ртутные лампы: опасность для окружающей среды // Экология производства, 2010, № 2, с. 53–55.
- Янин Е.П.* Состояние и проблемы утилизации ртутных ламп в России // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2010, № 2, с. 25–84.
- Янин Е.П.* Особенности обращения с ртутьсодержащими отходами в США // Ресурсосберегающие технологии, 2011, № 9, с. 11–17.
- Янин Е.П.* Технологии очистки ртутьсодержащих почв и грунтов (зарубежный опыт) // Ресурсосберегающие технологии, 2011, № 11, с. 30–36.
- Янин Е.П.* Основные мероприятия и программа по ртути ЮНЕП // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2011, № 5, с. 9–15.
- Янин Е.П., Бессонов В.В.* Использование ртути в полупроводниковой промышленности и ее эмиссия в среде обитания // Ресурсосберегающие технологии, 2007, № 4, с. 17–27.