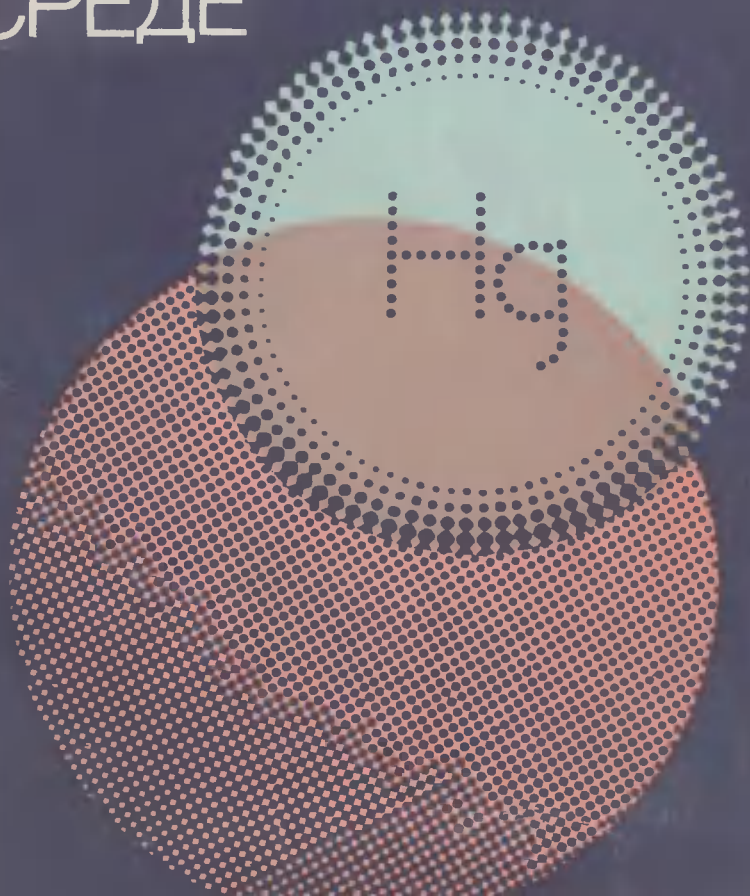


И.М.ТРАХТЕНБЕРГ
М.Н.КОРШУН

РТУТЬ

И ЕЁ СОЕДИНЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ



И.М.ТРАХТЕНБЕРГ
М.Н.КОРШУН

РТУТЬ

И ЕЁ СОЕДИНЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

/ГИГИЕНИЧЕСКИЕ
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ/

Под общей редакцией
профессора
И. М. Трахтенберга

ББК 24.122
Т65

УДК 574

Ртуть и ее соединения в окружающей среде (гигиенические и экологические аспекты) / И. М. Трахтенберг, М. Н. Коршун; Под общ. ред. И. М. Трахтенберга.— К. : Выща шк., 1990.— 232 с.— ISBN 5-11-002031-0.

В монографии дан систематический обзор информации об источниках поступления ртути в окружающую среду, о превращениях, которые претерпевают соединения ртути в естественных условиях, о влиянии этих веществ на человека и живые организмы. Содержатся практические рекомендации по устранению техногенных ртутных загрязнений, рассмотрены эколого-гигиенические особенности нормирования ртути и ее соединений в объектах окружающей среды.

Для научных работников, специалистов, преподавателей вузов, студентов.

Табл. 25. Ил. 20. Библиогр.: 215 назв.

Рецензенты: доктор технических наук профессор В. В. Стрельцов (Сумский филиал Харьковского политехнического института), доктор медицинских наук профессор Ю. Н. Талакин (Донецкий медицинский институт)

Редакционная группа литературы по химии и горному делу

Редактор В. А. Писаренко

Т $\frac{4105020000 - 113}{M211 (04) - 90}$ 194 — 90

ISBN 5-11-002031-0

© Трахтенберг И. М.,
Коршун М. Н., 1990

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
<i>Введение</i>	6
1. Некоторые теоретические и прикладные аспекты проблемы химического загрязнения окружающей среды . . .	11
2. Геохимические процессы миграции и концентрации ртути и ее соединений в биосфере	35
2.1. Краткий очерк геохимии ртути	35
2.2. Современные представления о ртути как микроэлементе	52
2.3. Биогеохимические ртутные провинции	58
3. Антропогенное загрязнение ртутью биосферы	63
3.1. Ртуть и ее соединения с позиций экологии и гигиены	65
3.2. Загрязнение внешней среды ртутью и его экологические и гигиенические последствия	83
4. Общая характеристика и основные источники техногенного загрязнения ртутью внешней среды	97
4.1. Производство и использование ртути и ее соединений в промышленности	104
4.2. Применение ртутьсодержащих органических соединений в сельском хозяйстве	111
4.3. Современный город и проблема «ртутной опасности».	115
4.4. Гигиеническое значение источников вторичного загрязнения	133
5. Экологическое и гигиеническое нормирование ртути и ее соединений	142
5.1. Принципы экологического нормирования химических загрязнений биосферы	143
5.2. Принципы гигиенического нормирования допустимого содержания вредных веществ в объектах окружающей среды	145
5.3. Особенности экологического нормирования и гигиенической стандартизации ртути и ее соединений	158
6. Охрана внешней среды от загрязнения ртутью и ее соединениями	165
6.1. Общая характеристика методов определения ртути в объектах окружающей среды	169

6.2. Предупреждение загрязнения ртутью пищевых продуктов	175
6.3. Очистка от ртути промышленных сточных вод и вентиляционных выбросов (В. А. Скрипник) . . .	178
6.4. Санитарная охрана почвы (В. А. Скрипник) . . .	191
6.5. Демеркуризация	193
6.6. Вопросы экономической эффективности природоохранных мероприятий	208
Заключение	215
<i>Список использованной литературы</i>	217

В отечественной литературе до настоящего времени вопросы охраны окружающей среды от загрязнения ртутью не обобщались и не подвергались всестороннему анализу, хотя эта проблема весьма актуальна как с социально-экологической, так и с биологической и гигиенической позиций.

В последние годы охрана окружающей среды от химических загрязнений является предметом широкого международного сотрудничества, предусматривающего изучение и решение на основе комплексного научного подхода различных аспектов указанной проблемы, исследования которой по своей природе носят многосторонний, двусторонний, региональный или субрегиональный характер. Основными направлениями этих исследований являются оценка влияния уровней загрязнения и деградации окружающей среды на здоровье человека, изучение и разработка критериев и стандартов для различных загрязнителей окружающей среды. Среди последних ртуть и ее соединения занимают особое место, что обусловлено чрезвычайно широкой сферой их применения и постоянным расширением числа производств, использующих ртуть, ее неорганические и органические соединения, а также приборы с ртутным заполнением. Все это стимулирует рост добычи ртутной руды и получения из нее металла. Так, если общее количество ртути, выработанное промышленностью в XIX в., составило 126,5 тыс. т, то в XX в. такое количество ртути было добыто уже в течение 23-х послевоенных лет. Из года в год возрастают промышленный синтез и применение наиболее токсичных и опасных для человека органических производных ртути.

Реальность загрязнения биосферы ртутью и ее соединениями обусловлена их относительно высокой летучестью, устойчивостью во внешней среде, растворимостью в атмосферных осадках, способностью к сорбции

почвой и зелеными насаждениями, что в совокупности приводит к постепенному накоплению и концентрации ртути в окружающей человека среде. Ежегодно в Мировой океан поступает около 5000 т этого элемента, такое же количество выбрасывается в атмосферу.

Интенсивное поступление ртути в окружающую среду в результате деятельности человека дало о себе знать локальным (в пределах отдельных районов и стран) повышением содержания ртути в объектах окружающей среды, в первую очередь во внутренних водоемах, а также в растениях и тканях наземных организмов. Группа специалистов Национального института медицинских проблем окружающей среды (США) в своем докладе отмечала возможность влияния химических загрязнителей внешней среды на процессы старения, возникновение и течение сердечно-сосудистых и, в частности, коронарных заболеваний, эмфизему легких, бронхит, рак. В полной мере это относится к ртути и ее соединениям.

В связи с изложенным выше, в интересах охраны окружающей среды от загрязнения ртутью и ее соединениями, представляется необходимым ознакомление широкого круга специалистов — биологов, гигиенистов и других, разрабатывающих вопросы экологии и охраны природных ресурсов, с современным состоянием этой проблемы, конкретными мероприятиями по защите различных объектов среды (воздух, вода, почва и др.) от загрязнения их ртутью и ее соединениями.

Таким образом, издание настоящей книги вызвано, во-первых, необходимостью широкой публикации работ по экологическим и гигиеническим аспектам, включая проблему «человек и окружающая среда», разработка которой предусмотрена программами совместных работ с учеными-гигиенистами США и других стран, и, во-вторых, необходимостью обобщения опыта, накопленного прежде всего отечественными исследователями, по охране окружающей среды от загрязнения ртутью и ее соединениями.

Наконец, весьма существенным обстоятельством, которое справедливо подчеркнуто авторами во введении, является стремление отразить и закрепить приоритет отечественной науки в разработке научных основ охраны окружающей среды и, в частности, такой актуальной проблемы, какой является в современных условиях защита среды от загрязнения ртутью.

Книга предназначена для широкого круга научных и практических работников, а также будущих специалистов. В ней в обобщенном и систематизированном виде представлен богатый фактический материал по проблеме так называемой «ртутной опасности». Показательно, что именно ртуть явилась предметом первой публикации в издаваемых обзорах по критериям здоровья в связи с химическим загрязнением окружающей среды¹.

Материал охватывает основные аспекты проблемы, особо подчеркивается важность широких профилактических мероприятий, подробно излагается их конкретное содержание и дается оценка эффективности.

В книге дана гигиеническая оценка разнообразных технологических и технических решений, направленных на уменьшение потерь ртути с вентиляционными выбросами и сточными водами, излагаются рекомендации по санитарной охране почвы и предупреждению загрязнения ртутью пищевых продуктов. Подробно освещены вопросы геохимии ртути, пути поступления ее в окружающую среду в процессе производства и применения, способы распространения ртути в условиях современного города, воздействия на организм малых концентраций ртути и др. Особый интерес представляет изложение гигиенического нормирования ртути и ее соединений.

Глава «Некоторые теоретические и прикладные аспекты химического загрязнения окружающей среды», имеющая самостоятельное значение, удачно вводит читателя в курс рассматриваемой проблемы.

Предлагаемое вниманию читателей издание несомненно высокоинформативно, и как одно из еще немногих сегодня руководств призвано способствовать ознакомлению студентов с различными аспектами теории и практики экологии и охраны окружающей среды. Вряд ли можно переоценить в современных условиях необходимость знаний в этой области будущих молодых специалистов — биологов, геологов, геохимиков, токсикологов, гигиенистов, представителей других отраслей науки и народного хозяйства.

*Герой Социалистического Труда
академик АМН СССР
Лауреат Государственной премии СССР
Ф. Г. КРОТКОВ*

¹ Mercury Environmental Health Criteria.— Geneva, WHO, 1976.— 132 p.

Формирование активного отношения к реализации научно обоснованных рекомендаций по охране окружающей среды и проведению природоохранных мер у всех категорий и групп населения страны — одна из наиболее актуальных проблем современности. Однако наибольший эффект даст соответствующая экологическая подготовка тех специалистов отраслей народного хозяйства, чья деятельность непосредственно связана с производством и последующим применением разнообразных химических веществ, способных накапливаться в компонентах природного окружения человека. Прежде всего это относится к студентам биологических, геологических, горных, гидромелиоративных, химико-технологических, строительных и сельскохозяйственных высших учебных заведений. Подготовка медицинских кадров, и в первую очередь врачей гигиенического профиля, должна особо учитывать экологические аспекты проблемы здоровья человека.

В данной монографии отражен многолетний опыт, накопленный в нашей стране и за рубежом по научной разработке проблемы «ртутной опасности».

Металлы и разнообразные их производные представляют собой значительную группу химических веществ, широко используемых сегодня в народном хозяйстве, науке и технике. Современное промышленное производство использует 70 металлов периодической системы. Из них 56 являются переходными, обладающими способностью образовывать металлоорганические соединения более высокой токсичности, чем неорганические соединения металлов.

Благодаря внедрению новых технологических процессов в производственных помещениях многих отраслей промышленности уровень загрязнения среды металлами

заметно снизился. Однако этот эффект нередко достигается за счет увеличения выбросов металлов в атмосферу, где они рассеиваются и поступают в воду и почву. Отметим, что атомы стабильных металлов неразрушимы, т. е. они постепенно накапливаются в среде обитания человека. Это в полной мере относится к ртути и ее органическим и неорганическим соединениям.

Исследование ртути как токсичного агента и загрязняющего производственную среду вещества (по ранее принятой терминологии — профессионального яда) имеет свою поучительную историю. Ртуть была известна человеку еще с глубокой древности, она широко использовалась в лечебной практике, притом раньше, чем свинец, медь, железо и другие металлы. В древнеиндийских источниках подчеркивалось, что врач, познавший целебные свойства трав и корней, — человек; врач, познавший силу молитвы, — пророк; врач, знающий силу ртути, — бог. Однако ртуть наряду с многими достоинствами, обусловившими ее широкое распространение, обладает одним существенным недостатком — токсическим действием на организм. Это свойство ртути также было известно давно. Арабские алхимики и врачи знали, например, о том, что змеи, скорпионы и другие пресмыкающиеся покидают жилища, в которых разлита ртуть. Врачи начали обращать внимание не только на терапевтическую эффективность ртути и ее соединений, но и на токсическое действие, с которым столкнулись работающие при добыче ртути из киновари, при так называемом золочении на огне, обработке фетра, многочисленных лабораторных работах. Известны утверждения, что и П. Паскаль, и М. Фарадей, применявшие ртуть в лабораторных исследованиях, подверглись тяжелой интоксикации. Действительно, у М. Фарадея, использовавшего ртуть в качестве катода при электролизе, были обнаружены расстройство психики, резкая астения, потеря памяти.

Об этих и других нарушениях здоровья работающих со ртутью, а также мерах защиты писали еще Г. Агрикола (1494—1555), Г. Фаллопий (1523—1562), основоположник учения о профессиональных заболеваниях Б. Рамаццини (1633—1714), В. А. Левицкий (1867—1936). В. А. Левицкий подробно описал тяжелые нарушения здоровья рабочих (и членов их семей), занимавшихся изготовлением фетра, когда в кустарном шляпном производстве при выделке заячьих шкур широко

использовался нитрат ртути. Образное название «болезнь сумасшедшего шляпника» объединяет как суть тех тяжелых нервно-психических расстройств, свойственных длительно работающим со ртутью, так и их «профессиональную» избирательность. Показательно, что название это вошло и в обиходную речь, и в художественную литературу. Вероятно, читатель с детства помнит известную сказку английского писателя Л. Кэрролла «Алиса в стране чудес». Одним из ее героев является Болванщик (шляпных дел мастер), о котором говорят, что он оболванился, не в своем уме, сумасшедший. Глава, в которой Алиса встречается с ним и его другом Мартовским Зайцем за чайным столом, названа автором «Безумное чаепитие», а поведение Болванщика за столом и его реплики («В словах Болванщика, как будто, не было смысла, хоть каждое слово в отдельности и было понятно») приводят Алису к убеждению, что она «в жизни не видала такой дурацкой компании». В комментариях к упомянутой книге М. Гарднер ссылается на широко распространенную английскую поговорку «безумен как шляпник» и при этом объясняет, что эта поговорка обязана своим происхождением тому факту, что до самого недавнего времени шляпники действительно сходили с ума вследствие воздействия ртути. В последующем, как известно, использование нитрата ртути при выделке фетра было прекращено. Однако в различных областях физики, химии, электротехники сфера и масштабы использования ртути с каждым годом все больше расширяются.

Значительное число отмеченных в начале нынешнего столетия выраженных ртутных отравлений, а затем выявленные в двадцатых годах случаи так называемого микромеркуриализма — симптомокомплекса, вызываемого действием малых концентраций ртути, нередко маскируемого диагнозом неврастения, обусловили повышенный интерес врачей к проблеме ртутных интоксикаций, способствовали их профилактике, внедрению в производство, особенно в нашей стране, эффективных оздоровительных мероприятий¹. Такое положение создало на какой-то период времени видимость относительного благополучия.

В последние десятилетия во многих странах вновь заметно возрос интерес к ртути и ее соединениям как

токсичным агентам и факторам, влияющим на состояние здоровья человека. Однако теперь эта проблема волнует не только представителей профилактической и лечебной медицины — гигиенистов, токсикологов, профпатологов, невропатологов, но и представителей других отраслей науки и практики — экологов, химиков и геохимиков, работников природоохранных органов. Такой повышенный интерес обусловлен прежде всего случаями отравлений ртутью вследствие применения ртутьорганических соединений, происшедшими в разное время в Канаде, Иране, Швеции и некоторых других странах, а также массовыми интоксикациями метилртутью в Японии, в результате которых большое количество людей, в том числе и детей, оказались пораженными ранее неизвестным тяжелым заболеванием, получившим впоследствии название болезнь Минаматы. Не могли пройти мимо внимания специалистов разных отраслей знаний и многочисленные публикации о загрязнении ртутью озер и рек различных регионов мира, в частности Америки и Скандинавии, данные о резком повышении содержания ртути в Средиземноморском регионе и ряде других морей. Ртуть попадала в пресные озера и в Балтийское море главным образом со сточными водами, сбрасываемыми предприятиями, которые производят хлор путем электролиза раствора хлорида натрия на ртутном катоде, а также целлюлозно-бумажными предприятиями, использующими фенилртуть в качестве антисептика.

Показательно, что в 1966 г. правительство Швеции запретило применение ртутных соединений, а затем утвердило «черный список» озер и прибрежных вод, опасных по ртути, который постоянно пересматривается. Шведские ученые учли опыт своих японских коллег, ранее установивших, что ряд современных производств, таких, например, как производство хлорвинила, загрязняет ртутью окружающую среду. Отметим, что эта акция была предпринята только после того, как австрийскими исследователями было обнаружено большое содержание ртути в куриных яйцах, импортируемых из Швеции. Ртуть попала в яйца вследствие того, что курам давали корм, выращенный из семян, протравленных метилртутью.

Под влиянием запретов, к которым были вынуждены прибегнуть в ряде стран в связи с загрязнением ртутью окружающей среды, в начале семидесятых годов админи-

¹ Термин «микромеркуриализм» предложен А. Штоком.

страция тридцати трех североамериканских штатов и восьми провинций Канады также ввела ряд ограничений.

В Вашингтоне было изъято из продажи 25 тыс. упаковок лекарственных средств, изготовленных из пораженной ртутью печени тихоокеанских тюленей. Управление по вопросам качества продовольствия и медикаментов рекомендовало беременным женщинам питаться рыбой, выловленной только из определенных водоемов, где не было обнаружено загрязнения ртутью.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом накапливается все больше данных по проблеме «ртутной опасности». Так, за последние 20 лет только «Медицинский реферативный журнал» сообщил о более чем четырехстах публикациях, посвященных этой проблеме. За рубежом появилось много обзоров литературы, посвященных гигиеническим и экологическим аспектам проблемы загрязнения ртутью и ее соединениями окружающей среды [174, 175, 187, 209, 213].

Таким образом, в последние годы ртуть все больше теряет присущее ей ранее свойство специфического и локального токсического фактора, ограниченного сферой промышленного производства, и с точки зрения гигиены и экологии приобретает более универсальное значение [127]. Это побуждает исследователей разрабатывать новые, более совершенные методы борьбы с загрязнением ртутью, активно совершенствовать не только мероприятия по оздоровлению условий труда при работе с ртутью, ее соединениями и приборами с ртутным наполнителем, но и более широкие социально-экономические мероприятия по предотвращению загрязнения ртутью объектов окружающей среды.

Содержание этой книги, являющейся первым опытом систематизированного изложения экологических и гигиенических аспектов охраны окружающей среды от конкретных химических загрязнителей, не исчерпывает всех сторон проблемы. Среди антропогенных загрязнителей известны и другие химические вещества, отрицательно влияющие на биогеоценозы и здоровье человека (свинец, кадмий, бифенилы, ароматические углеводороды, хлорсодержащие органические вещества), которые также должны явиться объектом дальнейшего изучения и преподавания, а полученная информация — основанием последующего применения в практике природоохранных мероприятий.

1. НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Надо ли еще раз напоминать о том, насколько актуальны и остры, особенно в последние десятилетия, противоречия между необходимостью, с одной стороны, расширять сферу и масштабы материального производства, обеспечивать дальнейшее наращивание темпов научно-технического прогресса, с другой — сохранять окружающую среду, рационально эксплуатировать природные ресурсы. Преодолеть их можно только с помощью современной науки. Закономерно, что наибольшую актуальность приобрели сегодня проблемы изучения влияния многообразной деятельности человека на природную среду, разработки вопросов формирования и развития экологических систем, научного обоснования гигиенических и экологических нормативов допустимого содержания в окружающей среде химических, физических и биологических факторов.

Человечество незаметно вступило в новую, новую фазу развития, сложилась, в сущности, совершенно новая ситуация, при которой не только расширилась сфера взаимодействия человека с окружающей средой, но изменился и сам характер этого взаимодействия. Отсюда необходимость разработки принципов экономного использования ресурсов биосферы, острая потребность в разработке конкретных мер по ее охране, реализация их в повседневной практике. Все больше внедряется в наше сознание мысль о необходимости новой — эколого-экономической оценки нынешней ситуации.

Если еще полвека назад природные ресурсы традиционно расценивались как неисчерпаемые, как практически неограниченный источник экономического развития, то сегодня не только специалисты, но и широкая общественность осознают, что это далеко не так.

Все больше мы убеждаемся в том, что уже не просто природа, а измененная нами природа воздействует на

человека. Привычными стали термины и понятия, которых не было еще несколько десятилетий назад («экология человека», «экологический кризис», «окружающая среда», «антропогенные факторы», «техногенные загрязнители» и др.). Можно ли было ожидать нынешнюю экологическую ситуацию? Ответ должен быть однозначным и утвердительным. Ведь еще Ф. Энгельс писал: «...на каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так... как кто-либо находящийся вне природы, — что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри нее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять».

И мы, в самом деле, с каждым днем научаемся все более правильно понимать ее законы и познавать как более близкие, так и более отдаленные последствия нашего активного вмешательства в ее естественный ход» [1, т. 20, с. 496].

Отдаленные непредвиденные последствия производственной деятельности человека, по определению Ф. Энгельса, очень часто уничтожают значение тех последствий, на которые мы рассчитываем. Мысль об этом, впервые прозвучавшая в «Диалектике природы», приобрела для нас сегодня особый смысл. В настоящее время это положение не только сохраняет свое значение как методологический принцип, но и все больше и больше проявляется в конкретных взаимоотношениях природы и общества. Производственная деятельность современного человечества непрерывно вносит в природу весьма существенные и заметные физические, химические, биологические изменения и тем самым неизбежно затрагивает установившиеся в природе причинно-следственные взаимосвязи и системы динамических равновесий. Это положение в свое время было обстоятельно рассмотрено в одной из публикаций журнала «Вопросы философии» [87]. В ней справедливо подчеркивалось, что на современной стадии развития общества возникла новая форма зависимости человечества от измененной им — «вторичной» — природы уже в глобальных масштабах. При этом отмечалось, что хотя всякая созидательная деятельность закономерно разрушает исходную первичную материю, создавая предметы с новым качеством, нас не может не тревожить то обстоятельство, что громадные и быстрые

изменения, вносимые человеком в природу на данной стадии развития общества, носят большей частью неблагоприятный и даже опасный для его организма характер. Автор публикации, аргументируя ответ на вопрос о том, почему именно эти изменения носят преимущественно неблагоприятный характер, ссылается на книгу «Введение в геоигиену» [24] — коллективный труд советских гигиенистов и токсикологов, не получивший, как нам представляется, в свое время заслуженного признания. Ссылка на это издание, в котором на убедительном фактическом материале показано, какое огромное влияние оказывает человечество на совокупность живых организмов биосферы, несомненно оправдана.

Следует согласиться с выдвинутым во «Введении в геоигиену» положением о том, что если бы даже геологическое и геохимическое значение человеческой деятельности исчерпывалось только влиянием последней на указанные организмы, то и в этом случае эффект такой деятельности был бы огромен.

Показательно, что к роли человечества как геохимического фактора многократно и последовательно обращался В. И. Вернадский, указывавший на то, что именно с человеком на поверхности нашей планеты появилась «...новая огромная геологическая сила» [26, т. 1, с. 223]. В своей известной работе «Биосфера» (раздел «Живое вещество в биосфере»), опубликованной в 1916 г., он писал: «На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом» [26, т. 5, с. 21]. В статьях по геохимии «Об использовании химических элементов в России» им было показано, как расширилось на Земле с течением веков число сознательно или бессознательно добываемых человеком химических элементов.

К данным, представленным В. И. Вернадским, мы еще обратимся в последующем. А сейчас возвратимся к вопросу о том, почему столь значительные и быстрые изменения, вносимые обществом в природу, по скорости намного превышающие темпы естественных процессов, носят большей частью неблагоприятный характер. И. В. Лазарев [79] объясняет это тем, что очень узки границы, в которых возможна жизнь вообще, а жизнь человека в особенности (так называемая «зона комфорта»). «Поэтому, — пишет он, — случайное, совершающееся

без воли человека, изменение окружающей среды именно в благоприятную сторону представляется событием крайне маловероятным» [79, с. 38].

Комментируя это положение, А. Е. Медунин [87] справедливо подчеркивает, что изменения в окружающей среде регионального и глобального масштабов чаще всего рассматриваются как случайные потому, что человек еще не научился управлять развитием биосфер и системой динамических равновесий в неорганической природе. Производственная деятельность человека разрушает веками складывавшиеся в природе связи, и потребуются многие десятилетия и даже столетия, чтобы биосферные вновь самоорганизовались и приняли характер гомеостатических систем, т. е. изменения, о которых идет речь, происходят в настоящее время столь быстро, что организмы и среда не успевают прийти во взаимно сбалансированное состояние. Это и определяет сложность проблемы, диктует необходимость понимания современными исследователями любой специальности противоречивости научно-технического прогресса, осмысливания различных его аспектов, поисков эффективных путей предотвращения неблагоприятных «вторичных» последствий тех изменений среды обитания человечества, которые возникают в результате его собственной жизни и интенсивной производственной деятельности.

Несмотря на обилие фактов, подтверждающих наличие отрицательных сторон научно-технического развития, существует тенденция недооценки этого явления. Это может привести если не к отказу, то во всяком случае к ослаблению активной позиции, а следовательно, и к ослаблению влияния конкретных действенных мер по отношению к таким негативным последствиям. Между тем, несмотря на чрезвычайную сложность рассматриваемой проблемы, успешное решение ее представляется принципиально возможным и реальным.

Рассмотрим причины недооценки и созерцательно-скептического в ряде случаев отношения к отрицательным влияниям тех вредных факторов научно-технического развития, которые выявлены уже сегодня и которые в будущем при определенных условиях могут увеличиваться почти по экспоненте.

Первая из причин такой недооценки, по мнению социологов, состоит в том, что все материальные и духов-

ные блага, являющиеся прямым следствием научно-технического прогресса, пока во много раз превосходят эффект негативных последствий, вторая — в том, что научно-технический прогресс, необходимость и полезность которого очевидны, является закономерным процессом в развитии современного общества, и поэтому нельзя представить себе, что его можно остановить даже если определенные слои общества, отдельные авторитетные лица или целые государства захотели бы это сделать. Наконец, третья причина заключается в том, что успехи науки и техники имеют тенденцию ликвидировать отрицательные факторы, свойственные ранней стадии технического развития. В связи с последним особо следует указать на то, что такая ликвидация отрицательных факторов не может происходить сама по себе, без активной, настойчивой и планомерной борьбы за устранение глобальной опасности века — «вторичных» последствий научно-технического прогресса. При этом необходимо четко осознавать не только реальную опасность этих последствий и «... не обольщаться нашими победами над природой» [1, т. 20, с. 495], но и четко представлять себе известную условность деления при оценке факторов научно-технического развития на положительные и отрицательные. Хотя такое деление на первый взгляд оправдано и логично, однако оно является весьма условным. Ведь очевидно, и именно в этом проявляется диалектическая категория единства и борьбы противоположностей, что по отношению к современному человеческому обществу одни и те же факторы нередко могут рассцениваться и как положительные, и как отрицательные, например, применение искусственно полученных атомов радиоактивных элементов, использование пестицидов, антибиотиков, синтетических полимерных материалов и др. Односторонний подход здесь не оправдан.

В настоящее время для того, чтобы подчеркнуть глобальную роль ускорения научно-технического прогресса и необходимости самостоятельного изучения его различных аспектов, предложен ряд специальных терминов «социосфера», «антропосфера», «техносфера», «биотехносфера». Эти и другие новые понятия отражают стремление человеческого общества познать и прогнозировать закономерности, присущие развитию и преобразованию биосферы. Нельзя не согласиться с тем, что человечество обязано уже сейчас предвидеть новые, своеобразные

и еще неизвестные науке законы, по которым будет в будущем развиваться биотехносфера.

Стремление познать и вскрыть реальные тенденции преобразования биосферы вследствие производственной деятельности человека отражено и в концепции Н. В. Лазарева, следующим образом аргументировавшего необходимость новой научной дисциплины — геогигиены: «Гигиена должна возвыситься до широты кругозора, соответствующей современному уровню развития производительных сил, и начать рассматривать вызываемые человеком сдвиги в среде нашего обитания в полном ее объеме, т. е. во всей биосфере» [79, с. 36]. Подчеркивается, что и здесь речь идет о предвидении самой возможности изменений среды обитания человека: «В области гигиенических наук нужно привыкать видеть все явления в их развитии, стремиться улавливать тенденции этого развития» [79, с. 36]. Возникновение самой идеи создания новой медицинской науки, призванной изучать, предвидеть и, по возможности, предупреждать последствия преобразования биосферы — знаменательный факт. В сущности была выдвинута и аргументирована идея о том, чтобы на современном этапе научно-технического развития объектом изучения гигиенической науки явились те сдвиги гигиенического характера, которые носят глобальный характер и значимы для оценки биосферы в целом. Последняя в дальнейшем получила свое развитие в концепции гигиены окружающей среды. По мнению Г. И. Сидоренко, возглавляющего научную разработку указанной концепции, гигиена окружающей среды — это интегрирующий раздел гигиенической науки, всесторонне изучающей общие закономерности взаимоотношений организма человека с факторами окружающей среды различной природы, механизмы взаимодействия организма на молекулярном, субклеточном, клеточном, организменном, коллективном и популяционном уровнях с комплексом благоприятных и неблагоприятных химических, физических и биологических факторов окружающей среды антропогенного и естественного происхождения. Целью гигиены окружающей среды как науки является научное обоснование общих принципов и подходов к оздоровлению условий жизни и труда, охране и укреплению здоровья населения в непрерывно изменяющихся условиях окружающей среды [119].

В работе «Статьи по геохимии» [26, т. II] В. И. Вернадский приводит перечень добываемых человеком химических элементов. Азот, алюминий, железо, золото, калий, кальций, кислород, кремний, медь, натрий, олово, ртуть, свинец, серебро, сера, сурьма, углерод, хлор и цинк использовались еще в древние века. Затем с XVIII в. к ним прибавились бор, висмут, кобальт, мышьяк, магний, никель и фосфор, а в XIX в. — барий, бром, ванадий, вольфрам, иридий, иод, кадмий, литий, марганец, молибден, осмий, палладий, радий, селен, стронций, тантал, фтор, цезий, торий, уран, хром и цирконий. В XX в. список используемых химических элементов еще более возрос за счет присоединения к нему актиния, гелия, лантана, неона, мезотория и др. Показательно, что за 50 лет, прошедшие после опубликования В. И. Вернадским этого списка, число используемых химических элементов еще увеличилось за счет радионуклидов редкоземельных элементов и др.

В этой и других своих работах В. И. Вернадский на конкретных цифрах и примерах подтвердил положение о том, что во многих отношениях представляются соизмеримыми влияния на биосферу «чисто природных» геологических факторов, с одной стороны, и производственной деятельности человека, с другой. Так, в отношении свинца производственная деятельность человека является в настоящее время таким могущественным источником накопления в земной коре элемента, перед которым меркнет значение естественных природных процессов. Аналогичное соображение высказано им и в отношении такого высокотоксичного загрязняющего окружающую среду вещества, каким является ртуть. При этом он обратил внимание на то, что все количество самородной ртути, вероятно, не достигает уровня ее запасов, получаемых человеком. В. И. Вернадский справедливо отметил, что именно человек является теперь главным агентом, вырабатывающим этот металл, и что годовая добыча его соизмерима с запасами самородной ртути, накапливаемой веками в результате естественных природных процессов.

В. И. Вернадским были приведены данные о добыче различных металлов на протяжении XIX в., тыс. т: свинца — 22711, цинка — 11373, меди — 10679, олова — 2122, серебра — 130, ртути — 126,5, никеля — 80, алюминия — 27,5, золота — 11,5. Комментируя их, он писал,

что величина добычи металлов в XX в. во много раз превысит «колоссальную добычу XIX столетия».

Сегодня мы воочию убеждаемся в правомерности такого предвидения. Ускорение научно-технического прогресса, способствующее бурному развитию энергетики, промышленности, сельского хозяйства, строительства и транспорта, широкой химизации всех отраслей народного хозяйства и быта, приводит к загрязнению окружающей среды — атмосферного воздуха, почвы, вод поверхностных и даже подземных источников. Ежегодно предприятия горно-рудной, каменноугольной, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности добывают из недр земли миллиарды тонн различных руд, горючих и строительных материалов. В атмосферу выбрасывается свыше 200 млн. т оксидов углерода; только от энергетических установок в воздух поступает около 60 млн. т сернистого ангидрида, около 146 млн. т оксида серы (VI), 70 млн. т неочищенных токсичных газов. На полях разбрасывается 90 млн. т удобрений и более 2 млн. т пестицидов. Расширяющиеся масштабы добычи полезных ископаемых, успехи органической химии, бурный рост химической промышленности определяют и расширение использования разнообразных химических агентов в быту. Мы так свыклись и считаем столь привычным наличие в сфере обитания множества химических веществ, что, как правило, просто не замечаем, как многие десятки элементов таблицы Менделеева присутствуют сегодня у нас дома. Достаточно вспомнить, что покрытия полов современных жилищ, общественных зданий и производственных помещений — это часто синтетические материалы, из которых нередко в воздух выделяются летучие компоненты полимерных композиций. Последние также выделяются из многих декоративных покрытий. То же относится к современным синтетическим моющим средствам, разнообразным пастам, эмульсиям, клеям, полировочным составам и т. д., составляющим огромный ассортимент так называемой бытовой химии.

Новая экологическая ситуация, обусловленная воздействиями различных техногенных факторов, влияет на жизнь и развитие человека как биологического вида, на течение биологических и психофизиологических процессов человеческого организма, на физическое состояние, самочувствие, здоровье людей. При этом новая отрасль

медицинских знаний — *экология человека* — подходит к анализу медико-биологических проблем, опираясь на принципы и положения диалектического и исторического материализма. Только использование этих методологических принципов и положений позволит адекватно понять взаимосвязь социальных и природных сторон жизнедеятельности человека на современном этапе [141]. Анализ этой взаимосвязи свидетельствует прежде всего о том, что загрязнение атмосферы и гидросферы вредными веществами, связанное с развитием атомной и химической промышленности, нарушение биосферного равновесия и другие нежелательные сдвиги в окружающей среде делают иной структуру заболеваемости. Действительно, в настоящее время наблюдается видоизменение привычных «классических» форм патологии и возникновение новых болезней (так называемые болезни цивилизации), в том числе токсического генеза. Все больше появляется данных о так называемой экологической патологии человека [49].

Из сказанного выше становится все более очевидным, насколько гигиенические и токсикологические проблемы в современном обществе обостряются прежде всего ускорением научно-технического прогресса, химизацией промышленности, сельского хозяйства и сферы быта, а также складывающимися в связи с этим взаимоотношениями между производственной деятельностью человека и природой. Это положение, разумеется, применимо и к экологическим проблемам [141]. В этой работе отмечается, в частности, что некоторые западные теоретики, рассматривая экологические проблемы в связи с научно-техническим прогрессом, не соотносят их с социальной действительностью. Они выдвигают концепцию надвигающегося экологического кризиса, который якобы имеет глобальный характер и грозит всем странам мира в одинаковой мере, независимо от их социального устройства. Таким образом, игнорируется то очевидное обстоятельство, что хотя большинство опасных дисгармоний во взаимодействии человека и природы действительно связано с техногенным воздействием на природу, в конечном счете они обусловлены социальными механизмами.

Сегодня каждый осознает, что необходимо сделать все зависящее для сохранения окружающей среды. Деятельность в этом направлении должна строиться в соответствии с закономерностями взаимоотношений человека

и природы, а задачи охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов — рассматриваться как первостепенные задачи большой экономической и социальной значимости. Разработка мер по их реализации требует проведения комплексных межатраслевых исследований. Философы, экономисты, юристы, геологи, биологи, химики, технологи и организаторы производства, работники проектных организаций, специалисты в области химической защиты растений, почвоведения и гидромелиорации — все они причастны в настоящее время к проблемам экологии. Медицинская наука, и в первую очередь гигиена, призванная изучать здоровье человека (индивида, отдельных групп населения и популяции в целом) как результат сложного взаимодействия организма и среды его существования (природной и социальной), вносит свою лепту в экологические исследования с позиций профилактики заболеваний, пытается переосмыслить свои задачи, цели и средства их достижения в связи с изменениями в жизни общества, обусловленными ускорением научно-технического прогресса во второй половине XX в. [116].

В настоящее время очевидно необходимость совместных усилий экологов и гигиенистов в выяснении роли влияния факторов внешней среды на организм человека, их значения в возникновении и течении заболеваний и в разработке эффективных мер предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этих факторов. Так, при изучении состояния здоровья сельского населения преимущественно тех районов Армении, где широко применяются пестициды, А. П. Айрианом была выдвинута оригинальная концепция социально-экологической очаговости болезней человека [6]. Предпосылки гипотезы социально-экологической очаговости болезней человека заложены, с одной стороны, в учении о природной очаговости трансмиссивных болезней человека, с другой — результатами исследований ряда отечественных и зарубежных ученых в области эпидемиологии неинфекционных заболеваний и факторов риска «болезней цивилизации и урбанизации». Связав факторы риска с конкретными условиями производственной деятельности населения различных сельскохозяйственных районов Армении (районов земледелия с широким применением ядохимикатов и районов животноводства, где объем их применения намного меньше), автор на основании статисти-

ческого анализа заболеваемости и состояния здоровья отдельных групп населения убедительно обосновал правомерность выдвинутой им концепции.

Для установления причинно-следственной связи между факторами окружающей среды и здоровьем населения и с целью углубленного анализа влияния этих факторов на здоровье с позиции системного подхода разработана концептуальная модель влияния окружающей среды на здоровье населения, принятая Европейским бюро Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) (рис. 1).

Из представленного схематического изображения этой модели следует, что окружающая среда включает в себя как природную среду (биосферу, гидросферу, атмосферу, литосферу), существующую как в естественном состоянии, так и в измененном (антропогенном) виде, так и социальную среду, включающую различные подсистемы социальной инфраструктуры общества. Модель предусматривает, что при изучении и оценке состояния здоровья человека выделяются три качественно и количественно различных уровня: здоровье индивида, здоровье отдельных групп населения и здоровье популяций.

Комментируя эту схему модели, Ю. М. Комаров справедливо акцентирует внимание на том, что только установив причинно-следственные связи между средой и здоровьем населения можно осуществить первичную профилактику, которая является массовой, эффективной и отражает наступательную систему охраны здоровья [67].

Очевидно, что если основные затраты на соответствующие мероприятия реализуются на верхних уровнях схемы (первичная профилактика), то это отражает, как уже говорилось, наступательную, предупредительную стратегию системы охраны здоровья, в то время как при реализации затрат в основном на низших уровнях схемы реализуется преимущественно оборонительная стратегия, при которой инициатива принадлежит противнику. В истории человечества длительное время преобладала именно такая ситуация, отражающая недостаточность знаний о причинно-следственных связях здоровья человека и условий его существования.

С победой Великой Октябрьской социалистической революции уже Программой Российской коммунистической партии (большевиков), принятой в 1919 г. на VIII съезде РКП(б), в основу деятельности в области

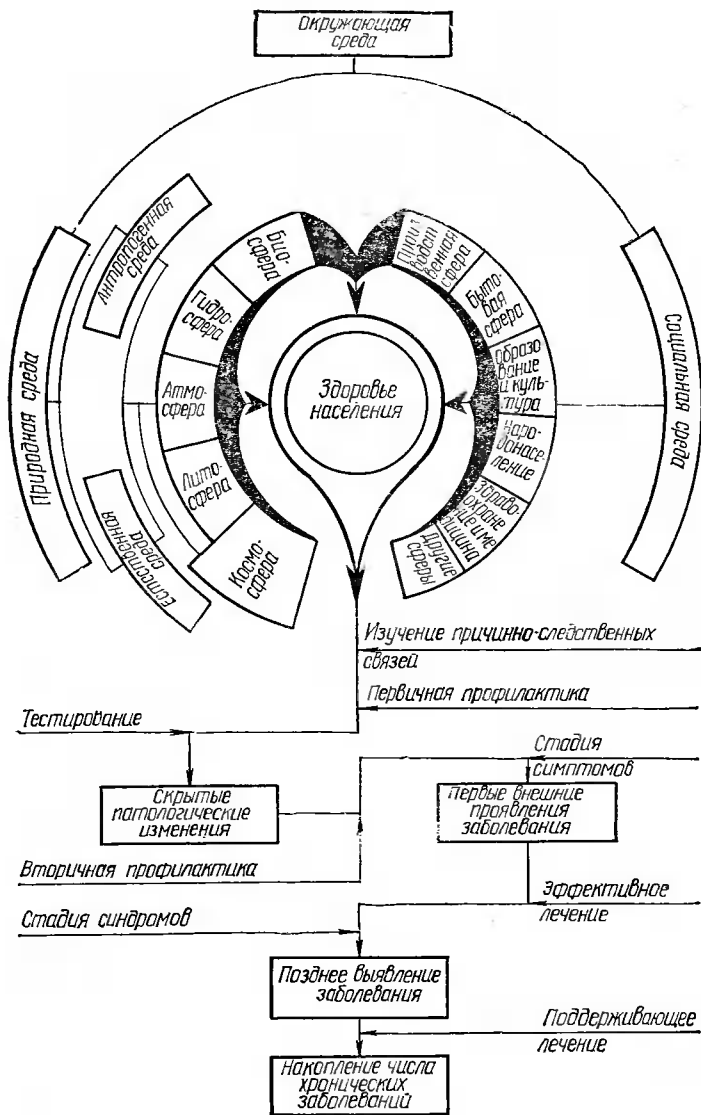


Рис. 1. Концептуальная модель влияния окружающей среды на здоровье населения

народного здравоохранения было положено «...проведение широких оздоровительных и санитарных мер, имеющих целью предупреждение развития заболеваний» [2], а среди ближайших задач ставились оздоровление населенных мест (охрана почвы, воды и воздуха), организация мер предупреждения развития и распространения инфекционных заболеваний, создание санитарного законодательства.

Свое дальнейшее развитие принципы профилактики получили в принятом Законе СССР от 1 декабря 1970 г. «Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о здравоохранении». Охрана здоровья народа в «Основах законодательства...» признана одной из важнейших задач Советского государства. Решение этой задачи обеспечивается системой социально-экономических и медико-санитарных мер, среди которых первыми названы проведение широких оздоровительных и профилактических мероприятий, создание на производстве и в быту надлежащих санитарно-гигиенических условий, устранение причин профессиональных заболеваний, а также других факторов, отрицательно влияющих на здоровье, проведение мероприятий по оздоровлению окружающей среды, обеспечению санитарной охраны водоемов, почвы и атмосферного воздуха. Само построение документа, в котором вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения поставлены на первый план, свидетельствует о приоритете первичной профилактики в системе охраны здоровья народа в нашей стране.

И сегодня закрепленное Конституцией СССР (Основным законом) право граждан нашей страны на охрану здоровья обеспечивается развитием и совершенствованием техники безопасности и производственной санитарии, проведением широких профилактических мероприятий по оздоровлению окружающей среды.

Природоохранные мероприятия в нашей стране должны базироваться на прочной правовой основе, представленной Законами Союза Советских Социалистических Республик, постановлениями Верховного Совета СССР, Верховных Советов союзных республик. Документы партии и государства по вопросам охраны природы направлены преимущественно на улучшение экологической обстановки важнейших народнохозяйственных и уникальных природных регионов страны.

Широкий спектр природоохранных вопросов охвачен постановлениями Совета Министров СССР.

Важный шаг в области природоохранной политики и практической деятельности государства был сделан постановлением ЦК КПСС, Президиума Верховного Совета СССР и Совета Министров СССР от 25 июля 1986 г. «О мерах по дальнейшему повышению роли и усилению ответственности Советов народных депутатов за ускорение социально-экономического развития в свете решений XXVII съезда КПСС». Этим постановлением признано целесообразным сконцентрировать руководство природоохранной деятельностью в союзных республиках в едином органе управления — Государственном комитете по охране окружающей среды и регулированию использования природных ресурсов. Постановление заострило вопрос о возмещении ущерба, причиненного в результате загрязнения природной среды. Отныне причиненный ущерб должен быть возмещен в обязательном порядке независимо от того, явился ли он следствием нарушения закона или результатом правомочных действий. Взыскиваемые средства поступят в республиканские или местные бюджеты и будут использованы на проведение природоохранных мероприятий. Тем самым природоохранные органы получили экономический стимул для эффективного использования юридического механизма взыскания ущерба. Одновременно с этим соответствующим органам дано поручение представить в Совет Министров СССР предложения о порядке определения и возмещения ущерба от загрязнения природной среды причинившими его объединениями, предприятиями и организациями.

7 января 1988 г. Центральным Комитетом КПСС и Советом Министров СССР было принято постановление «О коренной перестройке дела охраны природы в стране», в котором отмечалась, в частности, необходимость при разработке основных направлений экономического и социального развития СССР предусматривать в них действенные меры по предотвращению ухудшения качества природной среды, исходя из заданий и положений разрабатываемой долгосрочной государственной программы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СССР на тринадцатую пятилетку и на перспективу до 2005 г. Этим же постановлением регламентирован ряд конкретных мероприятий

с целью дальнейшего совершенствования всего дела охраны природы в стране. Было признано необходимым образовать союзно-республиканский Государственный комитет СССР по охране природы, который начал функционировать в том же году, возглавив единую систему государственных комитетов союзных республик по охране природы и органов этих комитетов в краях, областях, автономных республиках и округах, районах и городах. В настоящее время на первый план все больше начинает выдвигаться задача формирования принципиально нового направления производственной деятельности человека — «экологического», суть которого заключается в обеспечении так называемых экологических производств, т. е. производств, способствующих экологически благоприятным условиям жизни. Сегодня недостаточно развитие «нейтрализующей» технологии, призванной ослабить побочные и нежелательные последствия «производящей» технологии.

Если в процессе материального производства человек вначале только заставлял природу служить своим целям и на каком-то этапе эа уяснил, что наряду с производящей технологией необходимо развитие нейтрализующей технологии, то сегодня человек должен активно помочь природе залечить нанесенные ей в прошлом «раны» — воссоздать леса, восстановить плодородные почвы на месте открытых разработок угля и руды, ликвидировать терриконы, заставить отступить пустыни, научиться в сжатые сроки и в искусственных условиях осуществлять те процессы, которые в естественных геологических условиях требуют для своего осуществления тысячелетий. Упомянутая выше концепция социально-экологической очаговости болезней человека может способствовать выявлению тех регионов, где природоохранные задачи следует решать в первую очередь и с особой настойчивостью.

«Экологическое производство» как качественно новое направление материального производства отражает современный этап развития научно-технического прогресса. В нем слились воедино интересы техники, экологии и медицины, требование гармонии природы (естественной и очеловеченной трудом) и общества, в нем будет достигнуто подлинное разрешение противоречия между человеком и природой, что К. Маркс считал присущим коммунистической формации.

Обязательным условием достижения такой гармонии является, с одной стороны, подготовка квалифицированных кадров в области социальной экологии, охраны и гигиены окружающей среды, с другой — повышение уровня экологического образования и культуры специалистов всех отраслей народного хозяйства. Эти задачи решаются в нашей стране как в процессе обучения в высших учебных заведениях, так и в системе повышения квалификации руководящих работников и специалистов народного хозяйства. Координирует эту работу Секция по образованию в области окружающей среды межотраслевого научно-технического Совета при Государственном комитете по науке и технике СССР. Формирование экологического сознания выпускников высшей школы осуществляется согласно рекомендациям I Межправительственной конференции по образованию в области окружающей среды, проведенной в 1977 г. ЮНЕСКО при содействии Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) в Тбилиси [108]. На конференции подчеркивалось, что образование в области окружающей среды — не придаток, не механическое добавление к общему образованию, а составная его часть, которая должна органически включаться в систему образования и осуществляться на межотраслевом уровне путем усиления экологического аспекта всех предметных программ. Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 13 марта 1987 г. «О мерах по коренному улучшению качества подготовки и использования специалистов с высшим образованием в народном хозяйстве» поставлена задача обеспечения непрерывной, на протяжении всего периода обучения, экологической подготовки студентов. Опыт формирования экологического сознания студентов-медиков обобщен Г. К. Молдавской [93].

Ежегодно около 3 млн. специалистов различных отраслей народного хозяйства в процессе повышения своей квалификации на базе 1,5 тыс. учебных подразделений — институтов, факультетов, курсов повышения квалификации — овладевают знаниями в области охраны окружающей среды. Преподавание соответствующего цикла предусмотрено новой структурой учебных планов Комитета по народному образованию и осуществляется согласно утвержденной типовой программе «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». Достоинством программы является

органическое сочетание специального (как правило, технического) образования с подготовкой в области экологии и охраны природы, что дает комплекс знаний и навыков для организации эффективных природоохранных мер в различных отраслях народного хозяйства [39]. Единственная пока в стране кафедра промышленной экологии Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева подготовила первый выпуск (1988 г.) дипломированных специалистов в области социальной экологии, той новой интегральной науки, развитие которой в свое время предвидел и предсказал К. Маркс.

Преподавание научных основ экологии и тесно связанных с ней вопросов охраны и гигиены окружающей среды, несомненно, будет расширяться и совершенствоваться. В системе подготовки будущих специалистов в области биологии, гидрометеорологии, геологии, мелиорации, водного хозяйства, химии, токсикологии, гигиены, а также повышения квалификации специалистов, занимающихся вопросами контроля состояния и управления качеством окружающей среды, вопросы экологии и охраны окружающей среды, в частности от химических загрязнителей, приобретают все большую актуальность.

Один из них — практическая реализация мероприятий по предотвращению химического загрязнения таких объектов внешней среды, как воздух рабочей зоны производственных помещений и промышленных площадок предприятий, атмосферный воздух городов и сельских населенных пунктов, вода водоемов как хозяйственно-питьевого и коммунально-бытового назначения, так и используемая для нужд рыбного и сельского хозяйства, почва, зеленые насаждения.

Настойчиво популяризуя необходимость выполнения этих мероприятий, советские ученые подчеркивают значение преподавания экологии и охраны окружающей среды как самостоятельных современных дисциплин.

В конце 1985 г. в Москве начал функционировать Всесоюзный народный университет биосферных знаний им. В. И. Вернадского.

Для последующего расширения и углубления новых экологических и гигиенических вопросов охраны окружающей среды от химических загрязнителей, в том числе ртути и ее соединений, являющихся предметом нашего рассмотрения, весьма существенным представляется

понимание международных аспектов разрабатываемой проблемы, знание новых научных данных, получаемых в результате обмена международной информацией.

Проблема охраны окружающей среды получила международную поддержку. По решению ООН с 1973 г. 5 июня объявлен и ежегодно отмечается как День охраны природы, а в 1974 г. в ООН был создан новый орган — секретариат по вопросам окружающей среды, среди задач которого была организация глобальной системы наблюдения (мониторинга) за загрязнением окружающей среды и информирование государств о потенциальной опасности для человека и природы химических веществ. Последняя представлена в «Профилях данных» по химическим веществам. Профили данных в настоящее время подготавливаются и публикуются Международным регистром потенциально токсичных химических веществ (МРПТХВ). Профили данных содержат информацию о производстве и сферах применения вредных веществ, путях их поступления во внешнюю среду, степени токсичности для млекопитающих и человека, влиянии на организмы млекопитающих и растений, терапии отравлений, а также данные не только о международных, но и национальных рекомендациях и законодательных регламентах по контролю за химическими веществами в воде, воздухе, почве, пищевых продуктах, отходах производства и др.

В том же плане в соответствии с указанным выше профилем данных, разработанным МРПТХВ, в СССР Центром международных проектов (ЦМП) при Государственном комитете СССР по науке и технике публикуются «Научные обзоры советской литературы по токсичности и опасности химических веществ». Они издаются на русском и английском языках в соответствии с программой проекта СССР/ЮНЕП — МРПТХВ «Контроль опасности химических веществ для здоровья человека и окружающей среды». Издано уже более 120 таких обзоров, 11-й из них посвящен ртути [112], 117-й — ее органическим соединениям [100].

Ртуть как загрязняющее окружающую среду вещество явилась предметом первой публикации (1976 г.) в серии обзоров «Гигиенические критерии состояния окружающей среды», издаваемых ВОЗ и ЮНЕП [73]. В этих обзорах излагаются современные сведения

о физико-химических свойствах химических веществ, методах отбора и анализа проб, источниках воздействия на окружающую и производственную среду, миграции веществ во внешней среде, хемобиокинетике и метаболизме, остром и хроническом воздействии на живые организмы, эпидемиологических и клинических исследованиях, степени опасности воздействия для человека.

Краткое изложение новых данных о токсичности и опасности веществ и содержания законодательства отдельных стран в области профилактики токсических воздействий публикуется в разделе «Новая информация о химических веществах» бюллетеня, издаваемого МРПТХВ. В рамках программы ООН по окружающей среде это издание способствует реализации основной задачи регистра — международному сотрудничеству в сборе, оценке и обмене информацией о химических веществах и защите окружающей среды. Обращает на себя внимание то, что во многих выпусках бюллетеня публикуются новые сведения о ртути и ее соединениях, которые продолжают накапливаться и обобщаться в рамках национальных программ разных стран (Швеция, Дания, ФРГ, Япония, Канада и др.), а также научно-исследовательских Центров обработки данных мониторинга (ЦОДМ), тесно сотрудничающих с экспертами ЮНЕП/ФАО/ВОЗ/ФАО — Всемирная продовольственная программа ООН/.

Так, в последние годы шведскими исследователями на основании определений содержания ртути в рыбе, выловленной из озер, было показано, что содержание ртути все еще находится на высоком уровне, в связи с чем в г. Леруме было проведено специальное совещание международных экспертов на тему «Ртуть в окружающей среде». Были рассмотрены, в частности, вопросы круговорота ртути в окружающей среде и обращено особое внимание на оценку порядка величин ее переноса в атмосфере. Все это тем более актуально, если принять во внимание то, что не только в Швеции, но и в ряде других стран предполагается в большей степени использовать в качестве источника энергии каменный уголь. Кроме того, может также повыситься роль такого источника попадания ртути в атмосферу, как сжигание бытового мусора. Международные эксперты пришли к заключению, что современные антропогенные выбросы ртути в мировую атмосферу выражаются величинами

того же порядка, что и в выбросах, образующихся в ходе природных процессов. Вместе с тем современные фоновые уровни ртути существенно возросли, по всей вероятности, за счет антропогенных выбросов. Было отмечено также, что в пределах нескольких километров от места нахождения источника антропогенных выбросов донные отложения ртути превышают фоновые значения в 10—100 раз. Так, уровни ртути в донных отложениях озер и торфяных болот южной части Скандинавского полуострова, где более значительны уровни антропогенных выбросов ртути в атмосферу, за последние сто лет возросли в пять раз. Был сделан вывод, что именно увеличение в шведских лесных озерах содержания ртути за счет ее выпадения из атмосферы и поступления со сточными водами с площади водосбора обусловило увеличение содержания ртути в рыбе, обитающей в этих озерах. Большие выбросы ртути, имевшие место в пятидесятые-шестидесятые годы, по мнению экспертов, вызвали увеличение содержания ртути в гумусовом слое, а ртуть, связанная с гумусом, впоследствии путем переноса попала из почвы в водотоки и озера.

Одним из основных источников поступления ртути является потребляемая населением рыба (бюллетень МРПТХВ, по данным ЦОДМ). В связи с этим во всем мире сегодня проводится определение содержания в рыбе метилртути. Так, повышенное содержание метилртути в рыбе, обитающей в Средиземном море, обусловлено особой ситуацией в этом регионе. Известно, например, что на побережье острова Корсика в течение месяца в разные дни были обнаружены тела шести кашалотов, выбросившихся на берег. Анализы показали, что в мясе погибших животных содержалось повышенное количество ртути. Показательны также результаты анализов, проведенных научно-исследовательским биологическим центром (г. Ницца), свидетельствующие о том, что в средиземноморской рыбе содержание ртути в три раза больше, чем в рыбе, обитающей в Атлантическом океане. В связи с повышенной опасностью загрязнения ртутью окружающей среды районов Средиземного моря был разработан профиль данных специально по оценке этой опасности. Еще ранее в приложениях к проекту протокола по защите Средиземного моря от загрязнения наземными источниками ртути значилась среди других химических веществ, потенциально опасных для населения стран бас-

сейна Средиземного моря. В новый расширенный профиль данных по ртути была включена подробная информация о ее содержании, обнаруженном в разных объектах окружающей среды средиземноморского региона, и об эффектах, наблюдаемых в живых морских организмах этого бассейна. ЦОДМ были опубликованы данные о влиянии метилртути на здоровье человека, о зависимости доза — эффект, о воздействии указанного соединения на организм в период внутриутробного и постнатального развития, о содержании ртути в крови. Эти данные в целом совпали с пороговыми уровнями метилртути, установленными ВОЗ, для крови человека. В то же время отметим, что данные японских и канадских исследователей дают основание полагать, что для ряда эффектов метилртути существует латентный период, в связи с чем должны быть установлены более низкие пороговые уровни содержания ее в крови и волосах, а также в рационе питания. Поскольку беременные женщины и плод представляют группы особого риска при воздействии метилртути и обнаруженный уровень ее в теле плода примерно вдвое выше, чем в теле матери, был бы оправдан и пересмотр пороговых уровней содержания метилртути в организме беременных женщин.

Рядом международных организаций предусматривается система санкций и установлены нормативы техногенных выбросов в атмосферу и сбросов в водоемы ртутьсодержащих соединений. Так, Европейским экономическим сообществом (ЕЭС) принята директива о предельно допустимых количествах и критериях качества ртутьсодержащих сбросов хлорощелочных электролизных производств [186]. Здесь же предусматривается, что санкционирование пуска новых предприятий возможно только в том случае, если обеспечивается выполнение требований нормативов, касающихся использования технических средств предотвращения сбросов ртути. Отметим, что в законодательных актах и рекомендациях на уровне международных сообществ и организаций постоянно фигурируют рекомендации, регламентирующие меры по предотвращению загрязнения водоемов, почвы, атмосферного воздуха и пищевых продуктов ртутьсодержащими веществами.

Состоявшаяся в Стокгольме конференция ООН (1974 г.) приняла развернутую декларацию, в которой аргументируется необходимость защиты и улучшения

окружающей среды в интересах не только нынешних, но и будущих поколений. Через год после этой конференции в Гданьске были собраны представители Прибалтийских государств для всестороннего обсуждения проблемы охраны от химических загрязнений Балтийского моря. По инициативе Советского Союза в октябре 1977 г. в Тбилиси была проведена Межправительственная конференция по образованию в области охраны окружающей среды, в которой приняли участие делегаты 66 государств — членов ЮНЕСКО. Через некоторое время состоялась в Монте-Карло, под эгидой ООН, конференция, посвященная борьбе с загрязнением Средиземного моря.

Знаменательным событием в области международного сотрудничества по проблемам охраны окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов явилось отражение конкретных задач в этом направлении в «Итоговом документе Венской встречи представителей государств-участников совещания по безопасности и сотрудничеству в Европе» (1989 г.). Учитывая необходимость поддержания и восстановления экологического равновесия в атмосфере, водах и почве, раздел этого документа «Сотрудничество в области экономики, науки и техники и окружающей среды» предусматривает совершенствование внутреннего законодательства государств-участников совещания в экологическом аспекте. Предполагается также, что эти государства будут стремиться к более тесному и широкому обмену соответствующей информацией о потенциально токсичных химических веществах, опасности риска воздействия их на человека и окружающую природу. Отметим, что вклад советских специалистов в международное сотрудничество по проблемам защиты биосферы в настоящее время общепризнан.

В нашей стране все шире разрабатываются и внедряются в производство безотходные технологии, вводятся в эксплуатацию высокоэффективные очистные сооружения, унифицируются методы определения химических загрязнителей, практика их гигиенического нормирования и контроля. Последнему способствует разработка и внедрение в практику государственных стандартов Системы охраны природы. Расширяется распространение среди населения знаний по охране природы и окружающей среды. Введена в действие государственная программа

по гигиене окружающей среды, в которой определены основные цели гигиенических исследований, предпринимаемые советскими учеными в области теории и практики санитарной охраны среды. Предупреждением неблагоприятных воздействий денатурированной среды на здоровье и условия жизни населения, разработкой и внедрением в практику научных основ профилактики современной патологии, в частности химической этиологии, обоснованием надежных гигиенических нормативов, требований, правил и рекомендаций постоянно занимаются сегодня советские гигиенисты.

В Советском Союзе неуклонно и последовательно из года в год прогрессирует и совершенствуется четкая государственная система охраны окружающей среды. Как в теоретическом, так и в прикладном плане наиболее ответственными и сложными проблемами являются обоснование новых гигиенических нормативов техногенных факторов как в условиях эксперимента, так и в рамках так называемых натурных исследований и совершенствование общих принципов и методов постановки опытов на животных, наблюдений над людьми, анализа состояния окружающей среды.

Чтобы представить себе объем установления предельно допустимых количеств (ПДК) и ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ в объектах окружающей среды, приведем следующие данные.

К настоящему времени в нашей стране научно обосновано и утверждено свыше 1200 гигиенических нормативов допустимого содержания вредных веществ в воде водоемов, около 900 ПДК химических соединений, их комбинаций в атмосферном воздухе, более 1600 ПДК и ОБУВ химических веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений. Особо отметим, что гигиенические нормативы допустимого содержания в объектах производственной и окружающей среды потенциально токсичных химических веществ призваны в конечном счете способствовать сохранению здоровья людей, оздоровлению условий их жизни. Еще К. Маркс усматривал экономическую роль медицины в том, что повседневная профессиональная деятельность врачей «не создает непосредственного фонда, из которого они оплачиваются, хотя их труд входит в издержки производства того фонда, который вообще создает все стоимости, а именно

в издержки производства рабочей силы» [1, т. 26, ч. 1, с. 150].

Таким образом, решение задач охраны биосферы и человека от техногенных, в том числе химических, загрязнений решающим образом зависит от характера социальной системы, определяющей политику государств в борьбе с реальной опасностью экологического кризиса. Не случайно вопросы охраны окружающей среды, обеспечения санитарного и экологического благополучия страны с особой силой прозвучали на XIX Всесоюзной конференции КПСС. В выступлении Председателя Государственного комитета СССР по охране природы были приведены примеры вопиющей бесхозяйственности при использовании природных ресурсов (почвы, воды, атмосферного воздуха), загрязнения их токсичными агентами (нефтепродуктами, фенолом, средствами химизации сельского хозяйства) в количествах, в ряде регионов в 4—10 раз превышающих допустимые нормы. Особо было подчеркнуто, что экологические проблемы — следствие нашей технической и экологической малограмотности, бесхозяйственности и безответственности [3]. Во втором разделе резолюции «О ходе реализации решений XXVII съезда КПСС и задачах по углублению перестройки» записано: «Конференция считает важнейшей задачей безусловное выполнение принятых программ по здравоохранению и охране окружающей среды, улучшению экологической обстановки в стране» [3, с. 116].

Практическое решение этих проблем требует опережающего развития различных аспектов теории. Для совершенствования практики предупреждения и устранения негативных последствий воздействия общества на окружающую среду советской науке предстоит разработать всесторонне развитую социалистическую концепцию окружающей среды, включая теорию согласования всех сторон развития общества с экологическими требованиями.

Одним из направлений, способствующих ее реализации, является обобщение исследований по гигиене окружающей среды, в частности по санитарной охране ее от химических загрязнений.

2. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ И КОНЦЕНТРАЦИИ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ В БИОСФЕРЕ

2.1. Краткий очерк геохимии ртути

Ртуть относится к группе «малых» элементов и в природных условиях в земной коре встречается в незначительном количестве, преимущественно в рассеянном виде. По геохимической классификации относится к халькогенным элементам. Последние (в их числе сурьма, кадмий, свинец, серебро и мышьяк) концентрируются в сульфидных рудах с коэффициентом обогащения в пределах 1000—4000. В природе ртуть преимущественно находится в различных горных породах, в почве, в растениях и т.д. В месторождениях, где ртуть обнаруживается большей частью в виде HgS , находится всего около 0,02 % всех соединений ртути. Специальными расчетами геохимиков показано, что в 1 км^3 земной коры содержится 215,6 т ртути, что для поверхностного слоя всей земной коры мощностью в 1 км составляет 10^9 т. Ртуть обнаружена в основных и кислых изверженных породах, сравнительно высоко содержание ее в осадочных породах отмечено для сланцев.

Схема циркуляции ртути в окружающей среде приведена на рис. 2. Наиболее важным в гигиеническом отношении является наличие паров ртути в атмосферном воздухе, для чего предложено различать ряд пределов концентраций ртути (табл. 1). В настоящее время различают природные и техногенные источники ртутных паров. Природные подразделяют на глобальные, региональные и локальные источники, которые могут быть как эндогенными, так и экзогенными.

Глобальными эндогенными источниками ртути в атмосфере являются, по-видимому, верхняя мантия и вся толща земной коры. Из рассеянных в них различных соединений ртути (киновари, каломели, сулемы и многих других) происходит медленное выделение ее паров. Такая «дегазация» мантии и земной коры — постоянный геологический фактор, действующий в течение около 5 млрд. лет, — в определенной мере уравнивается процессами вымывания ртути из атмосферы с переходом ее в твердую и жидкую сферы Земли.

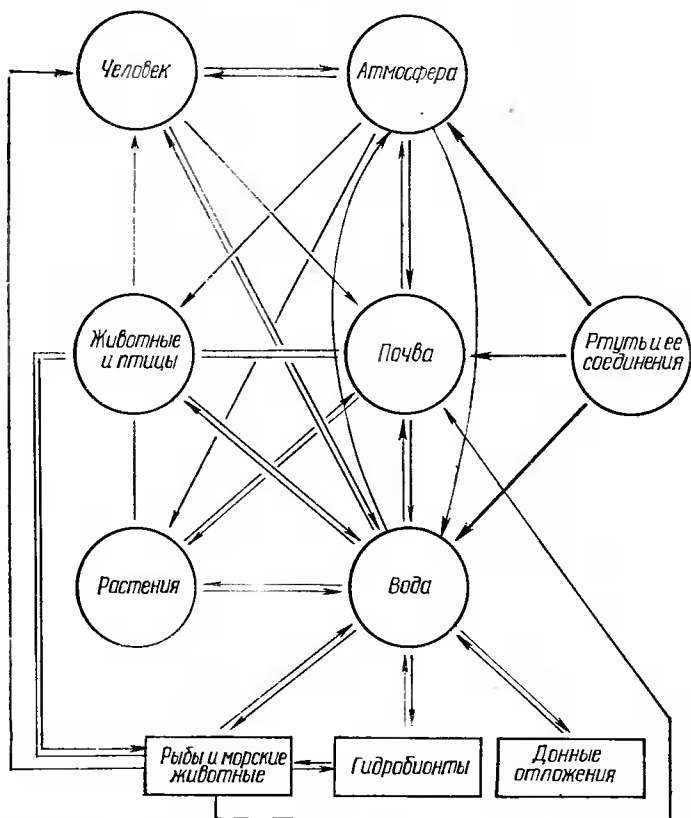


Рис. 2. Схема циркуляции ртути и ее соединений в окружающей среде

Глобальные экзогенные источники ртути — это горные породы, Мировой океан, подземные и все виды поверхностных вод, биосфера в целом. В силу большой рассеянности ртути во внешней среде и относительно однородного распределения ее в горных породах и почвах колебания глобального фона в целом незначительны (от одного до нескольких нанограммов на кубический метр).

Над ртутными и ртутьсодержащими месторождениями, вулканами, термальными источниками, нефтегазовыми и угольными бассейнами отмечаются значительно более высокие концентрации паров ртути, чем фоновые.

Таблица 1. Примерные пределы концентраций ртути в воздухе по геохимическим и санитарно-гигиеническим признакам (по М. А. Карасику, 1978)

Предел	Концентрация ртути, нг/м ³										
	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
Глобальный геохимический фон в различных слоях тропосферы	+	+	+	+							
Региональный и локальный геохимический фон в приземном слое тропосферы				+	+	+					
Локальные геохимические аномалии и антропогенные концентрации у поверхности земли					+	+	+	+			
ПДК в атмосферном воздухе						+					
ПДК в воздухе рабочей зоны								+			
Пределы насыщения при нормальных и близких к ним внешних условиях									+	+	+

В меньшей степени это относится к месторождениям химического и металлургического сырья.

Что касается конкретных источников паров ртути, их поступление в атмосферу происходит в результате непосредственного соприкосновения самородной жидкой ртути с атмосферным воздухом. А. А. Сауков с сотрудниками [113] отмечают, что в месторождениях киновари не удастся обнаружить самородную металлическую ртуть не потому, что она там не образуется, а в связи с тем, что скорость ее испарения превышает скорость ее образования. В атмосферу ртуть поступает также при извержении вулканов, так как магма всегда содержит некоторое количество ртути. Как известно, вспышки вулканической активности могут весьма существенно изменить геохимические характеристики, поскольку они сопровождаются внезапным поступлением в биосферу целого ряда химических элементов. Для органического мира эти вспышки могут иметь как положительные, так и отрицательные последствия. Известный вулканолог Г. Тазиев справедливо писал о том, что если только позволяет климат, край, где много вулканов, легко может стать раем для земледельцев. Но в этот рай время от времени вторгаются силы ада. К их числу он относит и те вредные токсичные соединения, которые могут выделяться в окружающую среду с выбросами вулканических извержений. Наличие ртути в атмосфере связано и с выделением ее из горячих источников ювенильного происхождения, и из газовых струй, выбивающихся на поверхность земли.

Наличие ртути в снеге и дождевой воде является одним из наиболее веских доказательств в пользу постоянного присутствия ртути в атмосфере. Содержание ртути в пробах дождевой воды, по данным работы [143], составляет 16,7 нг/г, в пробах снега — 13 нг/г. При анализе данных о содержании ртути в объектах окружающей среды при отсутствии дополнительного поступления из антропогенных источников необходимо учитывать регион отбора проб, чувствительность методики, объем проб и условия их «формования» (длительность формирования снежного покрова, временную зависимость содержания ртути в пробах дождевой воды — первые порции дождя содержат намного больше ртути, чем последующие).

Изучение распределения ртути в атмосфере по горизонтальным и вертикальным профилям над разными

районами СССР показало, что в северных широтах массовая доля ртути несколько выше. С высотой содержание ртути уменьшается, в частности, в столбе воздуха от 0 до 5 км в 2 раза [59].

В. З. Фуров [134] на основании проводимых в течение 16 лет измерений содержания паров ртути в приземной атмосфере (2,0—2,7 м) различных регионов страны (вне природных и техногенных аномалий) определил средний фоновый уровень ртути, равный $2,01 \pm 0,01$ нг/м³, и выявил граничные значения: минимальное — $1,55 \pm 0,08$ (Северный Казахстан) и максимальное — $2,99 \pm 0,10$ (Крым). Автор прогнозирует рост фонового уровня ртути к 2000 году до 2,8 нг/м³ за счет естественных и антропогенных факторов. Среди антропогенных факторов он выделяет прямые и косвенные. Косвенные факторы более опасны, поскольку они завуалированы и менее понятны: общее загрязнение атмосферы и земной поверхности, сопровождающееся повышением температуры, расширением ассортимента и концентрации загрязняющих веществ, кислотными дождями и так далее, приводит к усиленному поступлению ртути в окружающую среду и ускоренному включению ее в миграцию.

Для химических элементов, в том числе для ртути, существует свой определенный средний уровень содержания в атмосферном воздухе, воде, почве, горных породах. Вместе с тем горные породы отличаются наиболее значительным геохимическим разнообразием, тенденцией к изменчивости. Именно здесь наблюдаются существенное влияние на породы выветривания и денудации, близость магматических очагов, микроклиматические различия, связанные с высотными контрастами, и т. д. Встречаются территории, отличающиеся избыточным или недостаточным содержанием тех или иных элементов в среде. Это геохимические аномалии — биогеохимические провинции, которые так или иначе воздействуют на растения, животных и человека. Известны ртутные биогеохимические провинции. Следует отметить, что наличие диффузионного распространения ртути в земной коре и содержание ее в горных породах имеют несомненное гигиеническое значение. В этом отношении показательно наличие паров ртути в воздухе спектральных лабораторий, где проводится лабораторный анализ горных пород и минералов, в концентрациях, превышающих ПДКр. з (0,01 мг/м³) в 1,5—2 раза и более.

Аналогичные данные были получены и в воздухе одной из лабораторий геологического профиля на рабочем месте у спектрографа. Подтверждая факт наличия ртути в анализируемых породах, приведенные данные одновременно свидетельствуют о возможности весьма интенсивного загрязнения различных минералогических лабораторий ртутью, содержащейся в породах.

В целом температура ртутьсодержащих руд и вмещающих пород на глубине их залегания (50—70 °C и выше) достаточна для постоянной возгонки ртути, сочетающейся с другими процессами ее образования и выделения в виде паров. По зонам дробления и трещиноватости пары ртути устремляются вверх в направлении уменьшения давления. Землетрясения и производственная деятельность человека (строительство шахт, штолен, буровые работы, подземные взрывы и т. д.) обуславливают усиление поступления ртути в атмосферу.

На пути от подземных источников к поверхности земли пары ртути встречаются со своеобразным геохимическим барьером — почвой. Здесь они насыщают почвенный воздух и сорбируются рыхлыми отложениями. Содержание ртути в почвенном воздухе отличается большей стабильностью, меньшей подверженностью влиянию геолого-ландшафтных и метеорологических условий, чем в атмосферном воздухе. Это используется при поиске ртутьсодержащих полезных ископаемых.

Постоянное наличие ртути в атмосферном воздухе в значительной мере объясняется тем, что к указанным выше естественным источникам поступления ртути в воздух прибавляется ртуть, выделяющаяся при сжигании большого количества угля и торфа, жидкого топлива и газа. Так, в разных сортах угля на территории США содержится от 0,012 до 33,0 мг/кг ртути. Среднее значение близко к 1,0 мг/кг. В золе остается 10 % ртути, в то время как остальная переходит в парообразное состояние. Соответствующие расчеты показывают, что современная электростанция мощностью 700 МВт, работающая на угле, выбрасывает в атмосферу через дымовые трубы 2,5 кг ртути ежедневно. Источником выброса ртутных паров в атмосферу является и цементное производство. Рассеянная в осадочных породах ртуть выделяется в атмосферу в связи с тем, что обжигание известняка и глинистых сланцев происходит при весьма высокой температуре — до 1500 °C. Выделяются ртутные пары

в атмосферный воздух и при переработке полиметаллических руд — при выплавке из них свинца, цинка и меди. Определенное количество ртути попадает в воздух и из легко бьющихся стеклянных приборов с ртутным заполнением — термометров, газоразрядных ламп, разнообразных промышленных и лабораторных установок и т. д. По данным, опубликованным в США, только из разбитых медицинских термометров в окружающую среду ежегодно поступает 60 т ртути.

Несмотря на постоянное поступление паров ртути, атмосферный воздух в целом все же продолжает сохранять определенный фон, средний уровень массовой доли ртути до 0,00002 мг/м³. Это объясняется прежде всего наличием обратных процессов, в результате которых ртуть переводится из парообразной фазы в твердую и таким образом удаляется из атмосферы. Для гигиенистов сущность таких процессов представляет определенный интерес, так как они в значительной мере определяют содержание ртути в таких объектах окружающей среды, как почва, вода и растения. К указанным выше процессам относятся, в частности, растворение ртути в воде гидросферы, в дождевой воде, сорбция ртутных паров высокодисперсными системами, особенно почвами, и т. д.

Переход в гидросферу определяется прежде всего растворимостью соединений ртути. Так, анализ содержания ртути в последовательно отбираемых пробах дождевой воды показал, что массовая доля растворенной формы ртути уменьшалась со временем и в четвертой и последующих порциях устанавливалась почти на постоянном уровне, который был в 3—4 раза ниже исходного. При этом содержание газообразной ртути в атмосфере снижалось всего на 20 %. Это связано с тем, что содержащиеся в виде пара хорошо растворимые HgCl_2 и CH_3HgCl удаляются из атмосферы первыми порциями дождя. Поскольку их количество составляет всего 10—20 % общего количества газообразной ртути в воздухе, то вымывание из воздуха этих соединений не сопровождается существенным снижением концентрации ртути в атмосфере. В атмосфере определяются такие органические соединения ртути, как метилртуть CH_3HgH , обнаруживаемая в выхлопных газах автотранспорта, метилхлорид ртути CH_3HgCl и диметилртуть CH_3HgCH_3 [172]. Последние два компонента присутствуют в воздухе в концентрациях порядка 0,004—0,04 нг/м³ [56].

Для миграции ртути во внешней среде важен факт снижения содержания аэрозольной формы ртути по мере «старения» воздушного шлейфа, образующегося, в частности, при сжигании угля. Последнее может быть обусловлено как десорбцией ртути с поверхности аэрозолей, так и преимущественным (преобладающим) удалением ртути в аэрозольной форме (осаждение, вымывание) по сравнению с удалением паров. Доминирование паровой формы ртути во всех выбросах и тенденция к нарастанию ее удельного веса ведет к тому, что ртуть переносится воздушными течениями на очень большие расстояния.

В то же время нарастание концентраций окислителей в атмосфере (в первую очередь озона) способствует переводу $\text{Hg}(0)$ в $\text{Hg}(II)$, т. е. увеличению количества растворимой в воде формы ртути. Благодаря очень низкой константе распределения между воздухом и водой соединений ртути (II) по сравнению с элементарной ртутью водная фаза атмосферы является природным уловителем окисленной ртути. Так как производные ртути (II) быстро осаждаются из атмосферы влагой воздуха, окисление $\text{Hg}(0)$ в $\text{Hg}(II)$ интенсифицирует перенос ртути в водную фазу [169].

Анализ сорбции ртутных паров, совершающийся в естественных условиях, представляет для гигиенистов существенный практический интерес и с точки зрения выявления наиболее активных адсорбентов ртутных паров. Одним из весьма сильных адсорбентов ртути оказался активный оксид марганца (IV). Слой MnO_2 толщиной в 5 см при пропускании через него в течение 140 ч 500 л воздуха, насыщенного ртутными парами, полностью адсорбирует ртуть. Исходя из полученных результатов, активный оксид марганца (IV) был рекомендован в качестве специфического адсорбента ртутных паров. Это предложение получило широкое признание, и сухой пиролизитный способ очистки газов от паров ртути до настоящего времени применяют в промышленности. Кроме того, были изучены возможность и степень адсорбции ртути рядом других веществ — активным глиноземом, животным углем, гопкалитом, оксидом кобальта и т. д. Было показано, что природный MnO_2 также является достаточно активным адсорбентом ртутных паров, хотя и в меньшей мере, чем активный оксид марганца (IV).

Таким образом, адсорбция ртутных паров в естественных условиях является одним из факторов обеспечения существующего в природе состояния подвижного равновесия между ртутью атмосферы, с одной стороны, и ртутью, содержащейся в литосфере, с другой. Аналогичное состояние относительно устойчивого равновесия наблюдается между атмосферной ртутью и ртутью, содержащейся в гидросфере. И здесь важное место принадлежит сорбции ртути из растворов некоторыми высокодисперсными коллоидными системами (глинистыми осадками, железными и марганцевыми рудами и т. д.). В то же время возможен противоположный по направленности процесс. Переход загрязняющих веществ из природных водных объектов в атмосферу — важный процесс, учитываемый при их миграции в окружающей среде. В целом скорость испарения снижается с переходом к соединениям с относительно низким давлением паров и высокой молекулярной массой. Показателем скорости испарения веществ из водной среды может служить отношение константы скорости испарения вещества к константе скорости реазрации кислорода. Экспериментально установлено, что для ртути (раствор, содержащий свободно растворенную ртуть, получен восстановлением HgCl_2 из водного раствора известной концентрации гидратом гидразина) это отношение составляет 0,94, что превышает аналогичное отношение для бензола (0,6) и тетрахлорэтилена (0,58). По большинству разработанных формул время полусуществования ртути в морской воде колеблется в пределах 2,2—3,3 ч, что меньше, чем для ароматических и алкановых углеводородов [193].

На «поведении» ртути в окружающей среде существенно сказывается как концентрация водородных ионов (pH среды), так и окислительно-восстановительный потенциал (p_e) среды. Между этими показателями можно провести аналогию: как pH отражает активность протона, так p_e отражает активность электрона. С учетом низкой растворимости сульфида ртути и возможности образования его при нормальных условиях можно было бы заключить, что ртуть в окружающей среде не должна быть «легкодоступной» для химических превращений. Однако для образования сульфида при обычных значениях pH необходима сильновосстановительная среда (низкие значения p_e). При высоких значениях p_e ртуть обычно существует в элементарной форме. Массо-

вая доля насыщенного раствора элементарной ртути в воде составляет 56 мкг/л, что соответствует насыщающей массовой доле паров ртути 12 мг/м³ и определяет испарение ртути из водных растворов. Восстановительная среда необходима и для жизнедеятельности микроорганизмов, ответственных за реакции метилирования ртути по схеме: $\text{Hg}^{2+} \rightarrow \text{CH}_3 - \text{Hg}^+ \rightarrow \text{CH}_3 - \text{Hg} - \text{CH}_3$. При этом $\text{CH}_3 - \text{Hg}^+$ образуется при значениях p_e , достаточных для роста организмов, участвующих в метилировании, но недостаточных для образования сульфида ртути. Именно поэтому трансформация ртути в окружающей среде идет с преимущественным образованием метилртути. Скорость образования диметилртути в несколько тысяч раз ниже скорости синтеза метилртути. Дальнейшая судьба метилпроизводных ртути различна: диметилртуть как летучее вещество испаряется из воды (особенно при $\text{pH} > 7$), метилртуть включается в биоценоз, (особенно при $\text{pH} < 7$) [124, 150, 162].

При анализе процесса миграции ртути в водной среде необходимо учитывать возможный эффект так называемого геохимического барьера — зоны, в которой на коротком расстоянии происходит резкая смена гидрогеохимических условий миграции химических элементов, приводящая к осаждению последних в твердую фазу и уменьшению в результате этого массовой доли элемента в водной среде. Эффект геохимического барьера может быть реализован как вследствие природных процессов, так и вследствие инженерно-технологических мероприятий. Он может проявляться на границе разных фаз и в гомогенной среде при изменении окислительно-восстановительного потенциала, pH среды, концентрации отдельных элементов и т. д. В отношении ртути эффективны следующие барьеры: сульфидный (ртуть осаждается в виде сульфида, отрицательный десятичный логарифм произведения растворимости которого равен 52,7), восстановительный (предполагаемая форма осаждения $\text{HgO}_n \cdot \text{H}_2\text{O}$) и сорбционный глинистый барьер (происходит соосаждение ртути с различными фракциями глин). Эффект геохимического барьера открывает возможность активизации естественных процессов, приводящих к снижению содержания ртути в сточных водах, например в процессе их отстаивания в шламонакопителях. Возможность достижения этого эффекта с помощью

инженерно-технологических мероприятий должна максимально учитываться при почвенных методах обезвреживания ртутьсодержащих отходов [71].

Итак, в основе обмена ртути между атмосферой, гидросферой и литосферой лежат такие явления, как адсорбция паров высокодисперсными коллоидными системами, испарение ртути, растворение ее в гидросфере и вымывание дождевой водой. Основной тенденцией сложных геохимических процессов миграции ртути во внешней среде является тенденция к равновесному состоянию ртути в различных природных объектах. Однако в естественное распределение ртути (так же, как и других металлов) в географической оболочке все больше вмешивается антропогенный фактор и прежде всего возрастающее производство ртути человеком (табл. 2).

Таблица 2. Данные о мировой добыче ртути (по С. М. Мельникову, 1971)

Годы	Производство ртути за весь период, т	Среднегодовое производство, т
1500—1600	8981	80
1601—1700	58532	582
1701—1800	81957	820
1801—1900	308085	3080
1901—1946	193000	4200
1947—1967*	143095	6700
1968	8000	8000
1973	10000	10000

* Ориентировочные данные.

В настоящее время мировое производство ртути составляет 8000—9000 т/год, при этом в процессе последующего использования около половины этого количества теряется и, распыляясь и рассеиваясь в среде, включается в биотический кругооборот. Добавим, что примерно столько же «техногенной ртути» выделяется в атмосферу при сжигании угля, выплавке руд цветных металлов, при производстве цемента. В атмосфере эта ртуть может адсорбироваться частицами пыли; при этом отношение ее к массе пыли нередко может составлять 1 : 1.

Добывая металлы из руд, человек вначале концентрирует их, однако уже в процессе выплавки из рудного

сырья начинается их неизбежное распыление и рассеивание в окружающей среде. Процесс рассеивания металлов продолжается и впоследствии. Доменные газы, образующиеся при получении чугуна, содержат колосниковую пыль, в состав которой входят железо, кальций, магний, марганец, медь и ртуть. Последняя содержится и в отходах медеплавильной промышленности. Так, на 1 т черновой меди приходится 2,09 т пыли, в составе токсичных микроэлементов которой содержится 4 % ртути наряду с медью (15 %), оксидами железа (около 60 %), мышьяком, цинком и свинцом (по 4 %). Каменноугольная зола содержит практически все металлы, причем степень содержания их в десятки раз выше, чем в изверженных породах. Аналогичен состав и золы горючих сланцев. Таким образом, не металлургическое производство, а именно сжигание угля является сегодня главным источником поступления в биосферу многих металлов. Наблюдения свидетельствуют, что при соответствующих метеорологических условиях техногенное рассеивание металлов может происходить на сотни и тысячи километров, приобретая межконтинентальные масштабы. В глобальных масштабах происходит процесс, называемый сегодня «металлическим прессом на биосферу», в который, наряду с другими тяжелыми металлами, вовлечена и ртуть. Сложность ситуации, как это подчеркивает Л. Г. Бондарев [15], не только в том, что биосфера должна воспринять, пропустить через себя большие количества тяжелых металлов, могущих неблагоприятно воздействовать на живое вещество, но главным образом в том, что эти металлы будут захвачены биосферой, удержаны ею, надолго войдут в кругооборот органического вещества, *изменяя его геохимические константы*. Изменения будут увеличиваться по мере возрастания масштабов поступления их в окружающую среду. Л. Г. Бондаревым был составлен прогноз поступления металлов в биосферу (табл. 3).

Комментируя эту таблицу, автор отмечает, что все металлы, рассеиваемые в результате производственной деятельности человека, поступают прежде всего на поверхность почвенного покрова, в гумусосферу. Поэтому в качестве показателя масштабов техногенных влияний наиболее наглядным представляется отношение техногенного выброса металла к его современному содержанию в гумусовой оболочке. В то же время приве-

Таблица 3. Предстоящее поступление металлов в биосферу, млн. т, в результате полного истощения их достоверных запасов на суше и сжигания имеющихся запасов угля и торфа (по Л. Г. Бондареву, 1976)

Химический элемент	Поступление в биосферу в результате				Содержание в гумусовой оболочке	Отношение техногенного выброса к содержанию в гумусовой оболочке
	полного истощения рудных запасов на суше	сжигания имеющихся запасов		производственной деятельности человека		
		угля	торфа			
Свинец	59,9	147,6		207,5	24,0	8,6
Мышьяк		739,0		739,0	12,0	61,6
Никель	48,0	1033,0	14,1	1095,4	96,0	11,4
Бериллий	0,2	442,2		442,4	14,4	30,7
Бор		885,6		885,6	24,0	36,9
Цинк	112,5	295,2		407,7	120,0	3,4
Кобальт	1,5	442,2	3,6	447,3	19,0	23,5
Галлий		147,6	0,8	148,4	24,0	6,2
Германий		738,0		738,0	2,4 · n	307 · n
Кадмий		7,4		7,4	1,2	6,2
Уран		590,4		590,4	2,4	246,0
Серебро		3,0		3,0	0,24	12,5
Молибден	1,4	295,2	0,4	297,0	7,2	40,7
Олово	0,5	295,2		295,2	19,0	15,6
Ванадий		1033,3	9,9	1043,2	240,0	4,3
Ртуть	0,4	0,15*		0,55	0,024	27,1
Литий		738,0		738,0	72,0	10,2
Висмут		29,5		29,5	0,24	122,9
Цезий		73,8		73,8	12,0	6,2
Сурьма	1,5	73,8		75,2	0,24	313,3

* Выброс ртути в окружающую среду определен с учетом того, что в золе остается только 10 % от ее количества, содержащегося в угле.

денные в таблице отношения для различных металлов, по ряду причин, следует считать преуменьшенными и подлежащими дальнейшей проверке. По мнению Л. Г. Бондарева, они иллюстрируют некий абстрактный случай, при котором все «техногенные металлы» были бы распределены равномерно на поверхности суши. Однако такая абстракция интересна как показатель геохимических возможностей человечества, которое способно в течение очень короткого времени изменить многие геохимические константы среды своего обитания. Поскольку процесс проникновения «техногенного выброса» метал-

лов в гумусосфере неравномерен, то данные последней графы таблицы могут претерпеть значительные изменения. Л. Г. Бондарев отмечает, что с некоторыми погрешностями можно утверждать, что выброс металлов в географическую оболочку в процессе техногенеза пропорционален плотности населения (табл. 4).

Таблица 4. Количественная характеристика «металлического пресса на биосферу» в пределах той части ойкумены¹, где плотность населения превосходит 200 человек на 1 км²

Химический элемент	Отношение техногенного выброса элемента к его содержанию в гумусовой оболочке	Химический элемент	Отношение техногенного выброса элемента к его содержанию в гумусовой оболочке
Сурьма	5843,0	Серебро	233,1
Уран	4387,9	Никель	210,1
Висмут	2292,1	Литий	190,2
Мышьяк	1148,8	Свинец	160,4
Бериллий	572,6	Кадмий	115,6
Ртуть	505,4	Галлий	113,8
Молибден	480,2	Ванадий	80,2
Кобальт	436,4	Цинк	63,4
Олово	290,4		

¹ Ойкумена — совокупность населенных человеком областей Земли.

Из представленных в табл. 4 данных следует, что в пределах наиболее густонаселенных областей, где обитает треть человечества, техногенный выброс многих металлов в биосферу превысит их содержание в гумусовой оболочке в десятки, сотни и тысячи раз. Таким образом, в дальнейшем можно ожидать значительного повышения в гумусовой оболочке и в живом веществе содержания ртути наряду со свинцом, цинком, мышьяком, молибденом, кадмием, ванадием и медью.

Рассеивание ртути будет приводить к значительным нежелательным и избыточным накоплениям этого металла в гумусосфере с нарастающим загрязнением почвенного покрова. Аналогичная перспектива ожидается сегодня и в отношении накопления ртути и других тяжелых металлов в морской воде. Многочисленные факты и наблюдения свидетельствуют о том, что содержание ртути и тяжелых металлов в морях, омывающих густонаселенные индустриальные районы, превышает соответствующую

фоновую концентрацию. Наиболее неблагоприятные внутренние часть Японского моря, воды, омывающие северо-восток США, прибрежные воды Северного моря, некоторые части Средиземного моря и др. В ряде мест, например в водах Гольфстрима, содержание ртути уже достигло опасного уровня, и колеблется от 1,5 до 20 мкг/л. Последняя цифра превышает ПДК в 4 раза. Советские ученые, проводившие гидрохимические исследования в северной части Атлантического океана, наблюдали на поперечном гидрохимическом профиле, пересекающем Гольфстрим по меридиану 50° западной долготы, струи, обогащенные ртутью.

Специальными исследованиями было показано, что при массовой доле ртути 50 мкг/л фотосинтез некоторых видов фитопланктона практически прекращается. Высокое содержание ртути было обнаружено в организме морских рыб, в частности в Северном и Балтийском морях. Заметим, что шведские исследователи, проверявшие свою ихтиофауну в связи с гибелью от ртути множества птиц, обнаружили ртуть в рыбах не только этих морей, но и внутренних водоемов (массовая доля ртути 9,6 мг/кг). Весьма показательно, что в крови и волосах людей, потреблявших загрязненную ртутью рыбу, содержание этого металла было в 6 раз больше, чем у лиц контрольной группы. У новорожденных от матерей, потреблявших загрязненную ртутью рыбу, металла в крови было почти на 22 % больше по сравнению с его естественным содержанием. Представляется очевидной опасность изменения фонового содержания ртути в природных водных ресурсах.

Можно предвидеть, что, прогнозируя опасность загрязнения ртутью биосферы, некоторые исследователи будут и впредь ссылаться на то, что последняя обладает способностью к самоочищению, значительными возможностями приспособления. Действительно, до каких-то пределов биосфера (разные ее компоненты — в разной степени, как подчеркивает Л. Г. Бондарев) сможет выдержать нарастающее давление «металлического пресса». Однако эти способности и возможности биосферы отнюдь не безграничны. Если поступление ртути и других тяжелых металлов, а также многих других химических элементов, составляющих техногенные выбросы, значительно изменяет геохимические константы, в частности почвенного покрова и поверхностных вод на обширных

герриториях, то это неизбежно сказывается и на всем органическом мире.

В настоящее время невозможно на основании лабораторных данных различить ртуть, поступившую в воздух из природных источников, и ртуть антропогенного происхождения. Суммируя различные предложения относительно отличительных свойств антропогенной ртути в атмосфере, М. А. Карасик выделяет следующие из них:

более высокая концентрация ртути антропогенных источников;

большая степень подвижности ртути и тесная связь ее с выделяющимися из техногенных источников другими вредными веществами;

более значительное влияние на возрастание во времени концентраций ртути в водоемах и почвах от выпадения ее из атмосферы;

более короткое время существования антропогенных паров ртути в атмосфере, что в значительной мере обусловлено перечисленными выше факторами.

Техногенные ареалы ртути вытеснены в соответствии с розой ветров, имеют вид шлейфов на фоне общего увеличения содержания ртути, более переменны в течение ограниченного времени (сутки, год), «привязанны» к путям движения различного транспорта [14].

Между содержанием антропогенной ртути в атмосферном и почвенном воздухе нет столь четкой зависимости, как в случае природных источников. Антропогенное загрязнение почвы приурочено к верхним слоям, повторяет розу ветров и быстро уменьшается с глубиной отбора проб [7]. В определенной мере дифференциальное значение может иметь идентификация во внешней среде таких форм органической ртути, которые являются продуктами исключительно человеческой деятельности (фенилртуть, метоксипроизводные и т. д.).

Таким образом, производственная деятельность человека влияет на естественный ход миграции и трансформации ртути, основанный на естественных физико-химических процессах (табл. 5). С одной стороны, в результате этого ртуть как элемент широкого рассеяния распространена в огромных масштабах (разработка и выплавка металла из весьма бедных руд). С другой — из «пассивной» формы (HgS , Hg) ртуть переводится в химически и биологически «активные» соединения (Hg^{2+} , водорастворимые соли, ртутьорганические соединения), что ускоряет

Таблица 5. Основные физико-химические процессы, определяющие миграцию и трансформацию ртути и ее соединений в косвенных объектах окружающей среды *

Физико-химический процесс	Объект окружающей среды		
	Атмосфера	Вода	Почва
Процессы, преимущественно определяющие миграцию (изменения химической формы нахождения ртути, как правило, не происходят)			
испарение и диффузия	+	+	+
сорбция золями, гелями, коллоидными системами	+	***	**
осаждение	+	+	+
растворение в жидкой фазе и вымывание водой из атмосферы	+	+	+
Процессы, преимущественно определяющие трансформацию химической формы нахождения ртути			
гидролиз, диссоциация	+	+	+
окисление и восстановление ($\text{HgO} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+}$)	+	+	+
метилирование и деметилирование ($\text{R Hg X} \rightleftharpoons \text{Hg} + \text{RH} + \text{HX}$)	+	+	+
взаимодействие с серой	+	+	+
диспропорционирование ($\text{Hg}_2^{2+} \rightarrow 2\text{Hg}^{2+}$)	+	+	+

Примечания. * При миграции ртути в живой природе имеют место все перечисленные в таблице виды физико-химических процессов.

** Характерно взаимодействие с гуминовыми веществами.

*** В виде донных отложений.

процессы ее миграции во внешней среде. Наблюдается рассеяние «активных» форм ртути с поступлением их в такие среды (воздух, вода, поверхностные слои почвы), которые обуславливают увеличение опасности для жизни на Земле.

Характерное для антропогенных зон «закисление» почв приводит к более интенсивному вымыванию из них и горных пород токсичных металлов, в том числе и ртути, а окисление вод является еще одной причиной повышения содержания ртути в рыбе, притом наиболее опасной формы — метилртути [150, 162].

В качестве иллюстрации некоторых из изложенных выше положений приведем результаты изучения мигра-

ции ртути в атмосфере префектуры Ниигата (Япония). Суммарное количество ртути в воздухе над префектурой, площадь которой $1,26 \cdot 10^4 \text{ км}^2$, оценено в 200 кг. Выбросы ртути из антропогенных источников составляют 900 кг/год (принималось во внимание содержание ртути в вентиляционных выбросах предприятий и поступление ее в атмосферу в результате сжигания топлива). Вклад природных источников 50 кг/год, в том числе за счет вулканической и фумарольной активности 40 кг/год и испарения из грунта и поверхности воды 10 кг/год. Суммарное поступление ртути в атмосферу составляет 950 кг/год (из них — 95 % благодаря антропогенным источникам). Удаление ртути из атмосферы оценивается в 310 кг/год, в том числе 180 кг/год — за счет выпадения с осадками, 100 — поглощения листвой деревьев, 30 кг/год — осаждением вблизи источника выбросов. Таким образом, в пределах префектуры ежегодные выбросы ртути более чем на 600 кг превышают ее осаждение [160].

2.2. Современные представления о ртути как микроэлементе

Как микроэлемент ртуть является объектом исследования различных научных дисциплин, синтез данных которых позволяет правильно оценить биологическую роль ртути в организмах растений, животных и человека (рис. 3). Средняя распространенность ртути как микроэлемента ($10^{-4} \%$) составляет: в почве — 0,01, в земной коре — 0,07, в отложениях — 0,09, в магматических породах — 0,06. На стадии вторичного рассеивания на миграцию ртути существенно влияют водородный показатель и окислительно-восстановительный потенциал среды. Окислительной среде свойственна миграция средней интенсивности, кислой среде — высокой интенсивности, нейтральной и щелочной среде — очень низкой интенсивности [18].

Наличие тяжелых металлов в окружающей растительные и животные организмы среде, непрерывный круговорот и миграция этих металлов в биосфере определяют постоянное присутствие их в разнообразных биологических субстратах. Средняя распространенность четырех пятых всех химических элементов измеряется тысячными долями процента и меньше. К таким микроэлементам



Рис. 3. Отрасли научных знаний, в сфере которых ртуть изучается как микроэлемент

относятся, в частности, почти все тяжелые металлы. В то же время в содержании самих микроэлементов возможны различия в тысячи и десятки тысяч раз.

Существуют различия и в способности организмов накапливать микроэлементы в определенных концентрациях и сочетаниях. Это качество (приобретенное) передается по наследству и, что характерно, сохраняется весьма стойко. Даже в иной геохимической обстановке, благодаря «памяти» вида и способности его накапливать в организме те микроэлементы, которые на «родине» вида были наиболее широко распространены, сохраняется свойство извлекать из среды и избирательно накапливать именно эти микроэлементы, даже если окружающая среда оказывается бедна ими. А. П. Виноградов указал, что в химическом составе организма хранятся признаки его происхождения [27].

Общность химического состава вещества живых организмов, в котором ведущими элементами являются кислород, водород, азот и углерод, сочетается с большими различиями в содержании микроэлементов, что придает каждому виду черты химической индивидуальности.

Ртуть относится к разряду ультрамикроэлементов, т. е. химических веществ, обнаруживаемых в растительных

и животных организмах в концентрациях порядка тысячных и сотых долей процента.

Известно, что только 35 из 70 микроэлементов, открытых к настоящему времени, изучены с точки зрения биологического значения и физиологической роли для живого организма. Относительно остальных сведения ограничены лишь наличием данных о самом факте постоянного присутствия их в составе организма, это относится и к ртути. Вопрос о ее биологической роли не решен, а по мнению многих исследователей вообще проблематичен. Однако с гигиенической точки зрения определение физиологического значения ртути как микроэлемента или признание отсутствия такового — задача очень актуальная. Необходимость ее решения диктуется принципиальным требованием определить «физиологическую норму» содержания ртути в различных биологических субстратах организма (органы, кровь, моча, слюна и др.), продуктах питания, растениях и т. д. Знание такой «нормы» позволит гигиенистам более обоснованно ориентироваться в оценке степени опасности обнаруживаемых в организме человека концентраций ртути, характеризовать в случае ртутного воздействия порядок величин, принимаемых во внимание в качестве «диагностических», углубить и с большей аргументацией обосновать гигиеническое значение малых концентраций ртути.

Общезвестная теория рассеянных микроэлементов показывает, что ртуть, присутствуя в биосфере, проникая с воздухом, водой и пищей в живой организм и постоянно обнаруживаясь в тканях, имеет определенное биологическое значение. Известно, например, что наличие ртути в молекуле ДНК — факт, позволяющий исследователям чрезвычайно осторожно, но все же предположить ее участие в передаче наследственной информации.

Интересные исследования по выявлению биологической роли ртути как микроэлемента были проведены в Туркменском медицинском институте. Была предпринята попытка выяснить влияние на течение ряда физиологических процессов тех концентраций ртути, в которых она встречается в естественной окружающей среде и в человеческом организме. Анализ был выполнен при массовых долях хлорида ртути (II) равных 500, 250, 50, 1,25, 0,3 мг/дм³. Такой широкий диапазон разбавлений позволил обнаружить особую роль определенных

концентраций в отношении их влияния на ход изучаемых физиологических процессов. Эти концентрации оказались весьма малыми, лежащими в пределах 0,3—1,25 мг/дм³. При повышении их до 50 мг/дм³ положительный эффект, возникающий под влиянием ртути как микроэлемента, снижался либо не проявлялся вообще.

Таким образом, подтверждается мнение о том, что при изучении физиологических свойств микроэлементов следует различать две возможные формы их воздействия на живой организм. Одна из них — токсико-фармакологическая — характеризуется свойством в зависимости от взятого количества денатурировать белки и блокировать различные звенья ферментативных процессов, другая — биотическая — постоянно присутствующая в обмене веществ, необходима для нормальной жизнедеятельности организма. С точки зрения постановки эксперимента и последующего анализа физиологических свойств ртути такая дифференциация возможных форм воздействия ее является принципиально важной. Не менее существенно это разделение и при анализе гигиенического значения малых массовых долей ртути, встречающихся в условиях производства и в быту.

Проведенные исследования показали, что весьма незначительные количества ртути (растворы хлорида ртути (II) 0,3—1,25 мг/дм³) способны усиливать фагоцитарную активность лейкоцитов крови как *in vivo*, так и *in vitro* и повышать интенсивность теплообмена. В опытах на изолированных сердцах лягушек также было показано, что при таких массовых долях ртути обладает свойством в известной мере обезвреживать действие токсичной жидкости на ткани и тем самым способствовать ускорению срока восстановления деятельности «отравленного» сердца¹.

Было отмечено повышение выживаемости лягушек, отравленных токсичной жидкостью, при последующем помещении их в растворы хлорида ртути (II) (1,25 мг/дм³). В опытах на морских свинках, которым после введения смертельной дозы дифтерийного токсина вначале (первые 2 сут) через каждые 2 ч, а затем (последующие 3 сут) через 1 ч вводили по 0,001 мг хлорида ртути (II), обнаружили выраженные детоксикационные свойства. В то

¹ В качестве «токсичной жидкости» брали экстракт, полученный из продуктов, образовавшихся при гниении мышц.

время как свинки, получившие смертельную дозу дифтерийного токсина, погибли, у животных, получавших одновременно с токсином хлорид ртути (II), ни одного смертельного случая не наблюдалось.

Результаты экспериментального изучения ртути как микроэлемента позволили с известным основанием отнести ее к агентам, стимулирующим фагоцитарную активность лейкоцитов и интенсивность обмена веществ. Полученные данные позволяют выделить ртуть как микроэлемент, принимавший участие в физиологических процессах, связанных с явлениями дезинтоксикации. Закономерная повторяемость стимулирующего эффекта ртути позволяет считать такие малые количества ртути «физиологическими», т. е. действующими по принципу не токсико-фармакологического агента, а именно микроэлемента. Это подтверждается также и тем, что содержание ртути в окружающей среде и в самом живом организме близко к массовым долям, обуславливающим в эксперименте стимулирующий эффект. Показателен и тот факт, что как в опытах на изолированном сердце лягушки, так и в экспериментах *in vitro* при использовании растворов хлорида ртути (II) более высоких концентраций (до 50 мг/дм³) заметного положительного эффекта не отмечалось, а дальнейшее увеличение его массовой доли вызывало токсическое действие. Предварительная выдержка в течение 30 мин токсичной жидкости в смеси с раствором хлорида ртути (II) концентрацией 1,25 мг/дм³, взятых в равных объемах, не приводила к уменьшению токсичности этой смеси. Отсюда можно предположить, что наблюдаемый в указанных выше опытах процесс дезинтоксикации происходит в самой ткани сердца, где и проявляется соответствующее действие ртути. Известно, что интенсификация окислительных процессов в организме способствует разрушению в нем токсинов. Отдельные наблюдения, свидетельствующие о дезинтоксикационной способности солей тяжелых металлов (медь, цинк), в концентрациях, отличающих их как микроэлементы, некоторые авторы склонны рассматривать как результат участия их во внутриклеточных окислительно-восстановительных процессах. С известной осторожностью в этом смысле можно допустить вероятность определенной аналогии с генезом дезинтоксикационного действия «физиологических» массовых долей ртути.

В последующих исследованиях Р. Т. Мангасаровой

[84] было показано, что различные количества ртути, начиная с чрезвычайно малых, близких к возможному содержанию ее в организме в естественных условиях, и кончая более высокими, существенно влияют на течение биоэнергетических процессов. В эксперименте на морских свинках было выявлено повышение общего уровня этих процессов: под влиянием малых количеств хлорида ртути (II) (0,22 мкг/кг) увеличивалась активность ферментов тканевого дыхания (сукцинатгидрогеназы и цитохромоксидазы), интенсифицировался газообмен, усиливалась активность церулоплазмينا. В другой серии опытов под влиянием малых количеств ртути было установлено повышение содержания гамма-глобулинов в сыворотке крови. Был сделан вывод об избирательном отношении ртути к ферментам тканевого дыхания печени, почек, мозга. Показательно, что повышение доз вводимого хлорида ртути (II) не увеличивает описанные эффекты, а, напротив, резко снижает их, вплоть до полного исчезновения.

В результате сопоставления степени выраженности и характера воздействия различных количеств ртути на организм экспериментальных животных Р. Т. Мангасарова считает возможным выделить три зоны этого воздействия: зону биотического действия, отличающуюся стимулирующим влиянием ртути на интенсивность биоэнергетических процессов, зону бездействия, в которой выявляется снижение или исчезновение эффекта стимулирования, и зону токсико-фармакологического действия, характеризующуюся возникновением токсического эффекта.

Таким образом, в качестве микроэлемента ртуть стимулирует влияние на некоторые физиологические процессы в организме животных и человека. Иной характер приобретает действие ртути в массовых долях, превышающих нормальное содержание ее в биологическом материале, органах и тканях человеческого организма. В этих случаях грань между «физиологическим» и «нефизиологическим» действием ртути постепенно стирается, и по мере нарастания ее массовой доли во внешней среде и соответственно в организме человека ртуть как микроэлемент превращается в ртуть как токсический агент.

2.3. Биогеохимические ртутные провинции

Как показывают расчеты геохимиков, миграция ртути с живым веществом является наиболее значительным по масштабу путем миграции ртути в биосфере. Продукция органического вещества в пересчете на сухую массу составляет примерно $2 \cdot 10^{11}$ т, при этом масса зоопланктона составляет менее 10 % массы фитопланктона. С учетом среднего содержания ртути в планктоне (10^{-3} %) общее количество металла, участвующее в ежегодной миграции живого вещества в гидросфере, составляет $2 \cdot 10^6$ т. Хотя это количество намного меньше находящегося в воде вне связи с живым веществом, масштабы биогеохимической миграции примерно в 100 раз больше, чем водной.

Особенно значительна роль живого вещества в миграции ртути в условиях биогеохимических ртутных провинций — районов, где содержание определенных микроэлементов в разных компонентах географической оболочки — в горных породах, природных водах, в почве и воздухе, а следовательно, в живых организмах — заметно отличается от обычного, среднего их содержания. Реальные специфические условия, возникающие в этих провинциях, существенно влияют на органический мир. Как недостаточность, так и избыточное содержание микроэлементов, в частности металлов, в среде обитания обуславливают существенные отклонения от нормы, аномалии развития, изменения в обмене веществ, появление эпидемических заболеваний животных и человека. Важной практической задачей является установление тех пороговых содержаний микроэлементов, выше и ниже которых в деятельности экосистемы возникают определенные отклонения. С этих позиций показательна зависимость нормальной жизнедеятельности организма от содержания микроэлементов в почве (рис. 4).

Обычно в условиях биогеохимических провинций воздействие металлов на организм человека проявляется постепенно. Однако в сочетании с другими неблагоприятными факторами (повышенной температурой, значительным содержанием других химических элементов, загрязнением воздуха, почвы, воды и зеленых насаждений тем же металлом за счет техногенных выбросов) это воздействие приобретает выраженный характер. Чрезвычайно образно, хотя и с элементами художественной



Рис. 4. Пороговые массовые доли биомикроэлементов в объектах внешней среды и живых организмах (по В. В. Ковальскому, 1977)

гиперболизации, переданы ощущения человека, впервые попавшего в ртутную биогеохимическую провинцию, в рассказе писателя И. А. Ефремова «Озеро горных духов».

В отличие от детально описанных и хорошо изученных местностей с аномальным содержанием иода, селена, молибдена и других веществ в отношении ртути таких данных нет. В. В. Ковальский называет только один регион — биогеохимическую ртутную провинцию Горного Алтая [64].

Биогеохимическая ртутная провинция расположена в Горно-Алтайской области в местах залегания ртутных рудных тел и ареалах их рассеивания. Образцы различных типов почв этой провинции содержат ртуть в пределах 0,3—12,0 мг/кг (в контрольном районе 0,04—0,12 мг/кг); уровень содержания ртути в водоносчиках, являющийся показателем концентрации ее во внешней среде, равен 0,002—0,03 мг/л. Количество ртути в атмосферном воздухе также значительно превышает содержание ртути за пределами зоны залегания ртутных месторождений и составляет 0,007—0,013 мг/м³.

Анализ общей заболеваемости показал, что среди лиц, проживающих в районе этой провинции, отмечается более высокий уровень заболеваемости по сравнению с заболеваемостью лиц контрольных районов (табл. 6).

Таблица 6. Общая заболеваемость лиц исследуемого и контрольного районов (по данным за три года)

Год	Количество случаев заболеваний на 100 человек населения в районе		Разность сопоставляемых относительных величин ¹
	исследуемом	контрольном	
Первый	49,4 ± 0,91	38,7 ± 0,76	10,7 ± 1,19
Второй	64,2 ± 0,87	42,7 ± 0,78	21,5 ± 1,21
Третий	56,6 ± 0,90	39,1 ± 0,76	17,5 ± 1,18

¹ Различия достоверны при $p < 0,001$.

Выявлен более высокий уровень заболеваемости по большинству нозологических форм: инфекционным болезням, болезням уха, горла и носа, органов дыхания и кровообращения, почек и мочеполовых органов, полости рта и зубов.

Так, количество людей, страдающих кариесом, в исследуемом районе (обследовано 1849 человек) в среднем на 10,4 % выше по сравнению с контрольным районом (обследовано 1442 человека), при этом разница между пораженностью кариесом сопоставляемых групп населения увеличивается с длительностью проживания в данной местности: от 4 % в группе детей дошкольного возраста до 8,6 % в группе школьников и до 18,7 % среди взрослых.

Интересные данные были получены при изучении состояния щитовидной железы. Большинство районов Горного Алтая отличаются низким содержанием иода в почве и воде. Исключение составляет лишь геохимическая ртутная провинция. Между тем высокий процент заболеваемости населения зобом отмечен как в бедных иодом районах, так и в относительно богатых иодом районах биогеохимической провинции (по данным М. Г. Коломийцевой, содержание иода в воде составляло 15,1—26,6 мг/дм³). В отличие от других мест Горного Алтая, где преобладали диффузные формы зоба (75,8 %), в населенных пунктах ртутной провинции среди лиц с выраженным зобом преобладали узловые и смешанные формы (72,9 %). Другой особенностью зобной эндемии данной местности в отличие от эндемического зоба Горного Алтая является значительное число лиц с токсическим зобом (25,7 % по сравнению с 5,1 % в контрольном

районе). Следует отметить, что в результате профилактики, проводимой обычными дозами иода, среди школьников, проживающих в районе с низким содержанием иода, за три года число лиц с выраженным заболеванием снизилось с 54,0 % до 29,8 %, в то время как аналогичное мероприятие среди школьников геохимической провинции оказалось практически неэффективным: процент лиц, пораженных зобом, за это время даже возрос с 40,0 до 43,9 %. Описанные выше особенности зобной эндемии в ртутной провинции обусловлены, с одной стороны, резкой иодной недостаточностью в результате «блокирования» иода ртутью, поступающей в организм в избыточном количестве, с другой — непосредственным влиянием ртути на структуру и функцию щитовидной железы. Повышенное содержание ртути в щитовидной железе обнаружено также у лиц, проживающих в районах добычи и переработки ртутной руды в Югославии (Идрия) [177].

Содержание ртути в моче лиц, проживающих в биогеохимической провинции, также обусловлено длительностью проживания и составляет в среднем среди детей дошкольного возраста 0,014 мг/дм³, среди школьников — 0,021 мг/дм³, среди взрослого населения — 0,033 мг/дм³, т. е. возрастает. Указанные величины намного превышают содержание ртути в моче лиц, не соприкасавшихся с ртутью или ее соединениями.

Таким образом, в условиях биогеохимической провинции, где на естественное повышение содержания ртути в объектах внешней среды накладывается повышение его в результате интенсивной добычи ртутной руды и ее переработки, наблюдаются определенные сдвиги в состоянии здоровья проживающего населения. Положениеотягощается биотрансформацией ртути в ее органическую форму. Так, в районе Идрии в рыбе содержится до 1000 нг/г метилртути (по сравнению с 50 нг/г в контрольном), а в ткани мозга и печени людей 10—20 % всей ртути представлено метилпроизводными [177].

Встречаются ртутные аномалии в ряде вулканических районов. Недавно такая аномалия была обнаружена на Гавайях. Массовая доля ртути в этом районе в ряде мест превышает 20 мкг/м³ воздуха. В морской рыбе, обитающей у берегов архипелага, нередко обнаруживается высокое содержание ртути.

Негативно воздействует ртуть биогеохимических провинций и на организм сельскохозяйственных животных. Так, экспериментально неоднократно было показано, что длительное введение в организм соединений ртути сопровождается увеличением уровня металлотионеина (МТ). В частности В. В. Ермаковым [40,41] установлено, что 30-кратное увеличение поступления хлорида ртути (II), этилмеркурхлорида и метилмеркурхлорида привело к повышению уровня МТ в печени соответственно до 170 ± 30 , 380 ± 40 , 450 ± 41 мг/кг против 70 ± 20 мг/кг контрольного. Аналогичный процесс наблюдается в биогеохимических ртутных провинциях, где уровень МТ в органах сельскохозяйственных животных «рудных» хозяйств возрастал в 10 раз по сравнению с контрольным (40—80 мг/кг). Ртуть накапливается преимущественно в шерстном покрове. Накопление повышенных количеств ртути сопровождается снижением у животных уровня гемоглобина, активности каталазы, пероксидазы, глутатионпероксидазы; концентрация тиогруппы в сыворотке уменьшается в 1,6 раза ($p < 0,01$). Обусловленность этих эффектов поступлением избыточных количеств ртути в условиях биогеохимической провинции подтвердилась тем, что после перевода животных на откормочный рацион с низким содержанием ртути гематологические и биохимические показатели нормализовались, содержание ртути в печени и почках и сопряженный с ним уровень МТ снижались. Тиосульфат натрия, вводимый в рацион, оказывает положительный (дезинтоксикационный) эффект, ускоряя процесс нормализации в 1,6—1,7 раза. Заметных количеств алкилртутных соединений в органах (тканях) и экскрементах сельскохозяйственных животных, травянистых растениях, почвах и биомассе почвенных микроорганизмов не обнаружено. Наличие метилртути было характерно только для водной среды, земноводных, млекопитающих и пресмыкающихся. При этом содержание метилртути в водоемах ртутной провинции всего в 1,5—2 раза выше, чем в природных водах контрольного района, что свидетельствует о приблизительной уравниваемости процессов метилирования и деметилирования в водной среде в реальных условиях ртутной биогеохимической провинции.

Таким образом, приведенные выше геохимические данные о распространении ртути в природе и о некоторых закономерностях, связанных с миграцией ее и содержа-

нием в различных объектах внешней среды, позволяют, с одной стороны, достаточно обоснованно (с учетом «естественного фона») трактовать результаты гигиенических наблюдений за содержанием ртути в атмосферном воздухе, питьевой воде, пищевых продуктах, в воздухе производственных помещений и так далее, с другой — правильно оценить наличие ртути в организме человека и величины, характеризующие содержание ее как микроэлемента. Только с учетом этих данных может быть рассмотрена в целом проблема воздействия на организм малых концентраций ртути, раскрыта ее гигиеническая сущность, определены принципы подхода к решению основных вопросов, четко установлены те пределы величин, которые, будучи малыми, являются отнюдь не индифферентными с точки зрения гигиены и токсикологии.

3. АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ РТУТЬЮ БИОСФЕРЫ

Наиболее важной отличительной особенностью антропогенной ртути в атмосфере является то, что ее максимальные количества обычно во много раз (нередко на 1—2 порядка) превышают максимальные природные. Поскольку природные локальные пределы содержания ртути в атмосфере соизмеримы с величиной ее ПДК (см. табл. 1), то отрицательная гигиеническая оценка этого явления очевидна.

Положение усугубляется тем, что антропогенное загрязнение из года в год нарастает и по количеству поступающей во внешнюю среду ртути техногенные источники становятся соизмеримыми с природными. На долю природных источников приходится 70 %, а на долю антропогенных — 30 % всей ртути, находящейся в атмосфере. Указывается также, что из 800 т ртути, ежегодно поступающей в атмосферу, 40 % связано с выветриванием породы и 60 % — с техногенными источниками. К. А. Буштуева и др. [21] оценили уровень поступления ртути в окружающую среду из антропогенных источников в 1975 г. в 20 тыс. т. Повышенное содержание ртути в пробах Гренландского льда, начиная с 1960 г., убедительно свидетельствует о роли промышленных факторов в поступлении значительных количеств ртути в атмосферу.

Постоянное увеличение добычи топлива и полезных ископаемых, геолого-разведочные работы и эксплуатация шахт, извлечение из недр горных пород, применение геотехнологических методов добычи полезных ископаемых способствуют усиленному поступлению техногенной ртути в окружающую среду. В связи с этим оценка этой тенденции должна базироваться на фундаменте геоигиены — науки, задача которой «...должна состоять в изучении изменений гигиенических характеристик биосферы, возникших под влиянием человеческой деятельности, и в поисках способов предупреждения или смягчения тех изменений, которые могут быть для человека нежелательными» [79, с. 37—38].

Антропогенное воздействие сказывается сильнее и раньше всего на химическом составе окружающей среды. Отражением этого до некоторой степени стало формирование новой научной дисциплины — *химии окружающей среды*. Фундаментальным понятием экологии, гигиены и химии окружающей среды является понятие «химической вредности». Из большого числа формулировок, раскрывающих содержание этого понятия, приведем формулировку в наибольшей степени и в наиболее общем виде учитывающую требования гигиены и экологии: «Под химической вредностью нужно понимать естественный или синтетический химический компонент (ионы, молекулы или атомы, органические или неорганические соединения с различным составом и структурой), поступающий в трех агрегатных состояниях в окружающую среду в результате человеческой деятельности в количествах, дебалансирующих при определенных условиях биотические и абиотические процессы и явления природы» [66]. Ртуть и ее неорганические и органические соединения целиком и полностью соответствуют этой формулировке: они могут быть естественного происхождения или синтезированы человеком, представлены атомами (пары ртути), молекулами или ионами и поступать в окружающую среду в избыточных количествах в результате производственной деятельности человека в виде пара, жидкости или твердых веществ.

ВОЗ определила, что загрязнение воздуха происходит в тех случаях, когда загрязняющее воздух вещество или несколько веществ присутствуют в атмосфере в таком количестве и в течение такого времени, что они причиняют или могут способствовать причинению вреда людям,

животным, растениям и имуществу, или могут нанести не поддающийся учету ущерб здоровью и имуществу человека.

3.1. Ртуть и ее соединения с позиций экологии и геоигиены

Дальнейшие исследования проблемы «ртутной опасности» не могут не учитывать геоигиенический аспект этой проблемы. Ртуть и ее соединения должны быть отнесены к веществам, для которых в первую очередь необходима гигиеническая оценка с позиций возможного загрязнения биосферы на основе предпосылок экономического, физико-химического, геохимического, агрохимического и биологического характера [125, 127].

С точки зрения экономических предпосылок в пользу этого говорит прежде всего высокая технофильность ртути [163]. Как известно, в использовании химических элементов отчетливо проявляется влияние их кларков в земной коре. В связи с этим степень использования химического элемента более правильно оценивать по показателю отношения масштабов его добычи (в тоннах) к кларку в литосфере, т. е. по технофильности. Технофильность ртути (10^9) такая, как и серебра, сурьмы, кадмия, меди, золота, вольфрама, молибдена и свинца, хотя кларк ртути ($8,3 \cdot 10^{-6}$) ниже кларка кадмия, меди, сурьмы, вольфрама, молибдена и свинца. Общая тенденция развития ноосферы, заключающаяся в увеличении технофильности, характерна и для ртути. Это подтверждают статистические материалы, свидетельствующие о постоянном росте добычи ртутной руды и получения из нее металла. Так, если общее количество ртути,работанное промышленностью в XIX в., составляло 126,5 тыс. т, то в XX в. такое количество ртути было добыто уже в течение 23 послевоенных лет. Производство ртути в капиталистических странах, начиная с 1955 г., составляло не менее 6 тыс. т/год, а в настоящее время превышает 9 тыс. т/год. Это позволяет предположить, что если потребность в ртути останется на прежнем уровне, то только капиталистическими странами в XX в. будет произведено более 500 тыс. т этого металла. Если учесть, что самородная ртуть в естественных условиях встречается очень редко и 99,9 % ртути находится в рассеянном состоянии, то приведенные выше данные могут

явиться наглядной иллюстрацией высказанного еще В. И. Вернадским мнения о том, что человек, должно быть, является теперь главным агентом, вырабатывающим этот металл на земной поверхности. При этом необходимо учесть, что сырьем для получения ртути служит киноварь, соединение практически не летучее и в воде не растворимое, т. е. переработка ртутной руды сопровождается появлением соединения более опасного в гигиеническом отношении, чем перерабатываемое сырье.

Запасы ртутной руды неравномерно распределены по земному шару. Основными странами-производителями ртути в капиталистическом мире являются Испания, Италия, Мексика и Канада, а основными потребителями — США, Япония, Англия, ФРГ, Франция.

В последние годы в связи с усилением контроля за предотвращением загрязнения ртутью окружающей среды цена на ртуть на мировом рынке резко упала. Сокращается ее производство, в частности, в Японии прекращено применение ртути в производстве пигментов, пестицидов и в 3 раза снижено потребление ртути в производстве хлора и каустика по сравнению с 1970 г. Тем не менее потребность капиталистических стран в ртути к 2000 году оценивается в 10—15 тыс. т/год.

Знание масштабов и распространения добычи ртути и торговли ею в мире позволяет наиболее точно предсказать, в каких регионах и странах можно ожидать более раннее появление признаков начинающегося глобального загрязнения. Неудивительно, что прежде всего эти тревожные симптомы проявились в бассейне Средиземного моря, где производится около 50 % мировой добычи ртути, в США и Японии.

Постоянный рост числа ртутных промышленных производств и чрезвычайно широкая сфера применения ртути и ее соединений служат предпосылкой того, что население большинства развитых и развивающихся стран в той или иной степени попадает в сферу влияния ртути. Только в последние годы к «новым» производствам, где ртуть обнаружена как одно из основных профессиональных загрязняющих веществ, отнесены коксохимическое производство, производство серной кислоты, производства, использующие ртутные катализаторы, начальные участки вискозного производства и др. В этом отношении показательны случаи ртутного отравления из «неожиданного источника», какими оказались, напри-

мер, старые авиационные батареи, в состав которых входила цинкортутная амальгама, содержащая всего до 0,8 % ртути. С использованием ртути работают двигатели спутников связи, что предопределяет возможность загрязнения верхних слоев атмосферы.

Пары ртути выделяются в воздух производственных помещений при производстве и применении ее неорганических соединений. Так, возможно загрязнение ртутью воздуха помещений при использовании сулемы для дезинфекции и воздуха подземных выработок при применении гремучертутных детонаторов. При этом наряду с парами ртути в воздухе находится аэрозоль ее неорганических соединений, а в подземных выработках ртуть находится в воздухе как в виде элементарного одноатомного пара, так и в сорбированном пылью состоянии. Последнее (в силу явлений синергизма) требует особого подхода при оценке опасности воздействия на организм таких сочетаний. Ртуть используется также как легирующая добавка к магнию для придания ему необходимых технологических свойств.

Особенностью этих новых производств является то, что источником загрязнения служит не столько ртуть или ее соединения, сколько небольшие количества их примесей к сырью или продуктам производства. Так, источником загрязнения коксохимических производств являются примеси ртути к углям, а источником загрязнения производств серной кислоты — примеси ртути к руде, содержащей серный колчедан [133]. Было выявлено, что источником загрязнения ртутью питьевой воды является перманганат калия, содержащий в среднем 0,3 мг Hg/kg и используемый в водоподготовке как окислитель для удаления запаха и привкуса [148]. Описаны случаи загрязнения питьевой воды ртутью и попадания металла в канализационные сети в результате использования ртутных расходомеров Вентури.

Все эти и подобные им производства, представляющие «локальную» опасность с точки зрения гигиены труда, имеют и более общее значение как новые источники дополнительного поступления паров ртути в атмосферный воздух, а твердых и жидких отходов производства — в почву и водоемы.

К конкретным химическим загрязняющим веществам следует отнести каломель, широкое применение которой в лечебной практике началось еще в XIV в. В прошлом

медицина отдавала предпочтение каломели в лечении многих болезней. Потребность в ней была столь велика, что каломель заготавливалась и расфасовывалась впрок. Высказано мнение, что столь длительное изготовление и применение, а значит и поступление каломели во внешнюю среду, и в первую очередь в водоемы, не прошло бесследно и ситуация, которая имеет место сегодня, формировалась в течение длительного времени.

Из года в год растет производство и применение наиболее токсичных и опасных для человека органических производных ртути. Если до середины XIX в. о них вообще ничего не знали (напомним, что первые металлоорганические соединения были синтезированы в 1849 г.), то в настоящее время промышленный синтез ртутьорганических соединений (РОС) составляет существенную долю всех отраслей промышленности, потребляющих ртуть. Постоянно расширяется и применение ртутьсодержащих пестицидов в различных отраслях народного хозяйства. Так, только в сельском хозяйстве США ежегодно применяется 400 т ртути, в основном в виде ртутьорганических пестицидов, что составляет 18 % общего количества используемой страной ртути (около 2200 т/год). В Швеции годовой импорт ртути составляет 140 т, из них около 22 % используют в виде ртутьорганических соединений в бумажной промышленности и сельском хозяйстве (соответственно 25 и 5 т).

Этим обстоятельством во многом объясняется то, что почти вся ртуть, определяемая в тканях животных, идентифицируется как одно из РОС, в частности метилртуть.

В работе [198] опубликован перечень ртутьсодержащих соединений, используемых как в сфере народного хозяйства, так и в науке и технике, а также в лечебной практике, он насчитывает 218 наименований органических и неорганических соединений ртути. Перечислены в нем и вещества, рекомендованные в качестве консервантов. Однако возможность широкого применения их для консервации биологического материала не всегда представляется бесспорной. Так, органическое соединение ртути 2-этилмеркуриотиобензойноокислый натрий, известное под названием мертиолята, в настоящее время используется при производстве вакцин, предназначенных преимущественно для иммунизации детей. Вряд ли можно считать это оправданным. И не случайно за рубежом в аннотациях

к мертиоляту можно встретить оговорки, что препарат предназначается только для лабораторной практики.

До настоящего времени некоторые ртутьорганические соединения продолжают применяться и в быту. Так, в смеси с красителями они используются для внутренней отделки помещений. Этанолмеркурхлорид был предложен в качестве составного компонента бактерицидных эмалей для покрытия медицинского оборудования и мебели. В виде препарата диоцид — смесь этанолмеркурхлорида и цетилпиридинийхлорида (или бромиды) в соотношении 1 : 2 — рекомендована для обработки шовного материала, аптечной посуды, рук хирургов.

Продолжается разработка антисептиков на основе органических соединений ртути, использование последних в составах необрастающих красок, что может нанести существенный вред зоопланктону, рыбам, а также иметь отдаленные вредные последствия. Соединения ртути используются как консерванты бактериальных препаратов и имплантируемых тканей, в составе красок детских игрушек и химических источников тока бытового назначения. Ртутьорганическое соединение неогидрин, меченный ^{197}Hg , ^{203}Hg , применяется в медицине в диагностике.

Предпосылки физико-химического аспекта характеризуются в основном следующим: высокой летучестью ртути и ее соединений; устойчивостью их во внешней среде; растворимостью в атмосферных осадках; способностью к сорбции почвой и к адсорбции взвешенными частицами из водной среды. В совокупности указанные выше свойства определяют постоянный круговорот ртути в природе, поддерживающий «фоновый» ее уровень как в объектах окружающей среды (воздух, почва, вода), так и в биологических объектах растительного и животного происхождения. Естественно поэтому, что поступление ртути даже в отдельные объекты (сферы) приводит к повышению «фона» ее содержания во всем окружении человека. В течение длительного времени это повышение «фона» определяется, как правило, в непосредственной близости к источникам загрязнения. Однако по мере увеличения числа таких источников возможно «слияние» небольших зон загрязнения в более крупные. Это подтверждается данными о загрязнении ртутью атмосферного воздуха городов даже при отсутствии значительных источников загрязнения промышленного характера.

Для современных городов характерно множество рассеянных по всему городу отделений контрольно-измерительных приборов заводов, лабораторий научно-исследовательских институтов, вузов и техникумов, бюро поверки КИП, лабораторий медико-биологического профиля и кабинетов лечебно-профилактических и учебно-воспитательных учреждений, которые в совокупности определяют загрязнение ртутью атмосферного воздуха городов в количествах, близких к предельно допустимому ($0,0003 \text{ мг/м}^3$). Показательно, что еще в 1964 г. было указано на более высокое содержание паров ртути в атмосфере городов США и Японии по сравнению с содержанием ртути в воздухе городов СССР и что городское население подвергается большей нагрузке ртутью, чем сельское.

Особо следует отметить способность паров ртути и ее органических соединений сорбироваться из воздуха строительными конструкциями промышленных и общественных зданий с образованием стойких вторичных источников загрязнения ртутью воздуха наружной атмосферы. Изучение этого вопроса позволило установить, что, во-первых, сорбция ртути строительными конструкциями практически не происходит, если содержание ее паров составляет $0,0003 \text{ мг/м}^3$ и ниже, во-вторых, депонированная почвой и строениями ртуть способна служить самостоятельным источником длительного загрязнения атмосферного воздуха парами.

К геохимическим предпосылкам, обуславливающим опасность ртути и ее соединений как факторов загрязнения биосферы, относится чрезвычайно низкий кларк ртути — всего $7 \cdot 10^{-6} \%$. Столь низкое среднее естественное содержание ртути в земной коре создает условия для резкого и значительного его превышения при загрязнении почвы, воздуха и воды ртутью и ее соединениями в результате производственной деятельности человека, что обуславливает нарушение привычных биохимических соотношений со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Ртуть и железо (среди металлов) представляют собой примеры крайностей чрезвычайно низкого и чрезвычайно высокого естественного содержания в почве. В этом плане следует указать, что условия, складывающиеся в ртутных биогеохимических провинциях, несут в себе двойную опасность. Являясь зонами залегания ртутной руды, имеющими промышленное значение, они характе-

ризуются не только повышенным естественным содержанием ртути в воздухе, воде, продуктах растительного и животного происхождения, но и наличием загрязнения внешней среды в результате процессов добычи, транспортировки и переработки ртутной руды с получением металлической ртути. Если в этих районах расположены также предприятия, потребляющие добываемую здесь же металлическую ртуть и ее соединения, то положение приобретает особую остроту.

Предпосылки агрохимического и гидрохимического характера связаны, с одной стороны, с особенностями использования ртутьорганических соединений, с другой — с превращениями, которые претерпевают соединения ртути в окружающей среде. Во-первых, применяемые для обеззараживания семян многих сельскохозяйственных культур соединения ртути вносятся в почву вместе с посевным материалом. Во-вторых, в некоторых крупных капиталистических странах (США, Япония) соединения ртути использовали и продолжают использовать не только для обработки зерна, но и для дезинфекции почвы. Распыление же с воздуха пестицидов является наиболее опасным способом их применения, поскольку при этом загрязняются воздух, почва, растительный и животный мир как непосредственно в зоне применения пестицидов, так и в районе их рассеивания (разносятся потоками воздуха, течением рек), размеры которого при таком способе применения весьма велики. В-третьих, неорганические и органические соединения ртути продолжают использовать для защиты морских судов от обрастания [32]. Высокая растворимость оксидных соединений ртути не только создает в слое воды, непосредственно соприкасающемся с защищаемой поверхностью, летальную концентрацию яда для большинства живых организмов обрастания, но в то же время служит фактором сокращения срока защиты судов и загрязнения воды. Однако и малорастворимые соли ртути (I) и ее органические соединения (преимущественно фенилпроизводные) со временем переходят в воду.

В-четвертых, неорганические соединения ртути, как и ряда других металлов, во внешней среде превращаются в органические, большинство из которых являются более токсичными.

В 1968 г. было показано, что ил аквариума может метилировать ртуть. Этим исследованием впервые было

установлено, что источником алкилирования ртути могут быть бактерии и что анаэробные экосистемы могут способствовать протеканию этой реакции. В том же году были получены данные, что в присутствии ионов ртути Hg^{2+} реакция образования метана экстрактами метаногенных организмов из метилкобаламина сопровождается образованием метил- и диметилртути и что диметилртуть является конечным продуктом реакции. В основе этой реакции может лежать как энзиматический, так и неэнзиматический процесс и в анаэробных условиях ее можно усилить путем увеличения количества метаногенных организмов.

На процесс метилирования ртути существенное влияние оказывает рН среды. Так, в кислой среде процесс останавливается на стадии образования монометилртути, что обуславливает увеличение концентрации этого вещества в воде и водных экосистемах. Напротив, в щелочной среде монометилртутные соединения трансформируются в диметилртуть, которая в силу высокой летучести «покидает» воду и уносится в атмосферу. Последующее поступление диметилртути в почву из атмосферы (например, с осадками) замыкает круг миграции ртути, причем образовавшиеся в окружающей среде соединения органических производных ртути оказываются более токсичными, чем поступающие (неорганические производные) в эту среду ранее.

Другой путь метилирования обязан *Neurospora crassa*, в метаболизме которого кобаламины не участвуют. Добавление дитиолов к среде не стимулировало, а введение α -метионина даже подавляло синтез метилртути в этом случае [171]. Установлена зависимость продуцирования метилртути от устойчивости мутантов *Neurospora crassa* к ионам двухвалентной ртути, что, по мнению ряда авторов, может иметь важное прикладное значение. Исследователи сегодня еще не располагают убедительными данными о различной токсичности химически и биологически синтезированных органических веществ вообще и ртути в частности. В эксперименте показано, что токсичность солей метилртути, полученных химически, аналогична токсичности солей, полученных при их «природном» накоплении в организме рыб. При этом необходимо учесть, что «природное» накопление в организме рыб метилртути обусловлено и тем, что в тканях некоторых видов рыб происходит процесс метилирования не-

органических соединений ртути [168]. Имеются данные о том, что метилртуть, поступающая с рыбой, загрязненной «природной» ртутью, оказывает более выраженный токсический эффект, чем то же количество химической метилртути, добавленной к пище (чистой рыбе).

Метилирование неорганической ртути в водных экосистемах протекает довольно быстро; это проявляется в частности, в том, что отношение количества органических соединений ртути к количеству общей ртути в мышечной ткани рыб повышается по мере удаления от мест попадания неорганических соединений ртути в водоем. Удельный вес метилртути относительно общего количества ртути в теле рыб достигает 78—93 % [170]. В условиях значительного загрязнения водной среды неорганическими соединениями ртути, встречающегося в ряде мест Средиземноморья, наблюдается нарастание содержания метилртути в цепи донные отложения (максимум ртути в метиловой форме составляет 1,37 %) — мидии (максимум 26,9 %) — рыбы (почти 100 %). Отмеченная отрицательная корреляция между концентрацией ртути в органической и неорганической форме в теле мидий связана с тем, что медленно идущий процесс метилирования неорганических соединений ртути в теле мидий не может компенсировать нарастания содержания неорганической ртути при ее относительно высокой концентрации в воде, обусловленной значительным поступлением со сточными водами. Высокое же содержание метилртути в теле рыб обязано быстрому усвоению метилированной ртути с пищей и медленному выведению ее из организма.

Загрязнение гидросферы неорганическими соединениями ртути приводит к увеличению массовой доли органических соединений ртути в наземных экосистемах. В целом, если массовая доля метилртути в почве, донных отложениях, ряде высших растений составляет ≤ 1 %, то в тканях насекомых и рыб, перьях птиц и организме человека (кровь, волосы, ногти), превышает 50 % [185]. Таким образом, возможность трансформации неорганических соединений ртути в органические диктует необходимость расширения научных исследований и повышения требований к защите почвы и водоемов от загрязнения не только органическими, но и неорганическими соединениями ртути.

Первыми шагами в этом направлении могут считаться изучение циркуляции ртути в окружающей среде в свя-

зи с загрязнением почвы и попытка нормирования допустимого содержания металла в почве. Опираясь на результаты собственных исследований и данные отечественной литературы, Г. Я. Чегринцев [138] показал, что:

1) загрязненная ртутью почва может служить источником вторичного поступления ртутных паров в атмосферный воздух;

2) загрязненные ртутью органическими пестицидами участки почвы могут обуславливать загрязнение соседних участков почвы и водоемов;

3) растения, выращенные на загрязненных ртутью почвах, усваивают значительные количества элемента.

В качестве допустимой массовой доли ртути в почве Г. Я. Чегринцев предложил величину 2,5 мг/кг.

К числу экологических последствий загрязнения ртутью почвы может быть отнесено то, что повышенное содержание элемента (на уровне, превышающем ПДК в 10 и более раз), не изменяя физико-химических свойств почв, вызывает снижение ее общей биологической активности [28]. При этом нитрификаторы, по-видимому, более чувствительны к действию ртути, чем аммонификаторы, что находит отражение в значительном увеличении содержания азота аммиака.

Однако среди исследователей существуют мнения и иного характера. Так, описан воспроизведенный в эксперименте противоположный по направленности процесс восстановительного разложения органических соединений ртути бесклеточными экстрактами псевдомонад, выделенными из почвы. В эксперименте показано, что некоторые штаммы эшерихий, золотистого стафилококка и *Pseudomonas aeruginosa*, подвергнутые предварительно инкубации при 37 °C в течение 3 ч в среде, содержащей 10^{-5} М сулемы, приобретают способность превращать сулему в ртуть (т. е. восстанавливать Hg^{2+} в Hg^0), а также установлено, что фермент, под действием которого реализуется этот процесс, быстро инактивируется при нагревании до 65 °C. Из речной воды выделены дрожжи *Cryptococcus* sp., способные восстанавливать Hg^{2+} до элементарной ртути; выделенная культура могла расти в присутствии 180 мг/л $HgCl_2$. При восстановлении Hg^{2+} в Hg^0 10—30 % ртути связывалось клетками. Таким образом, в процессе биотического кругооборота ртути имеют место процессы ее метилирования ($Hg^{2+} \rightarrow MtHg$) и восстановления ($Hg^{2+} \rightarrow Hg^0$). Элементар-

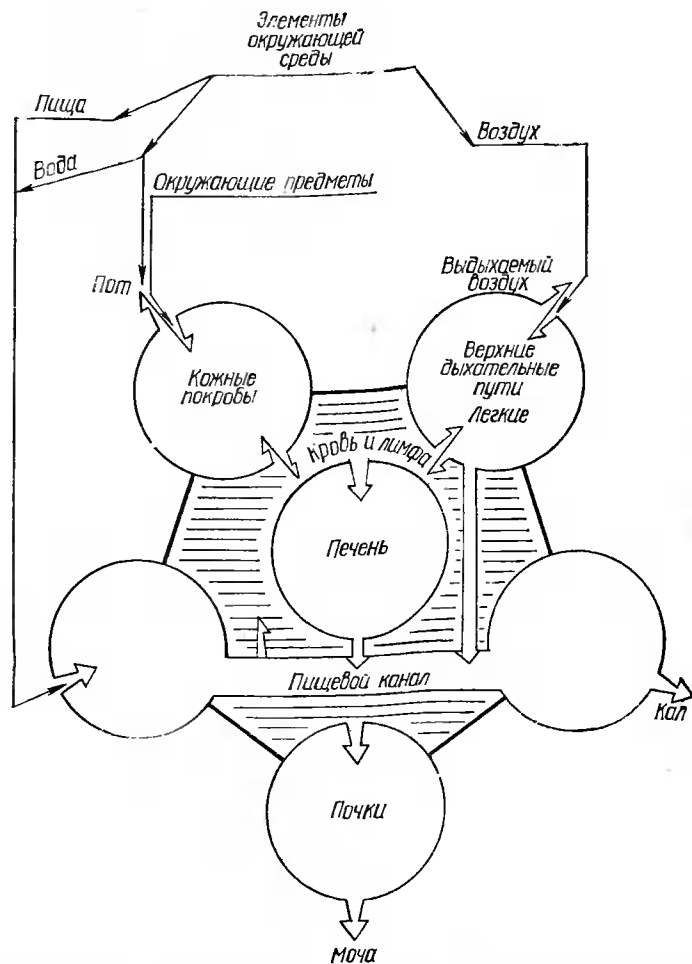


Рис. 5. Возможные пути поступления и выведения ртути и ее соединений из организма человека

ная ртуть и диметилпроизводные ртути улетучиваются из водной среды в атмосферу, монометилпроизводные (особенно в кислой среде) быстро переходят в ткани водных организмов. В то же время высказано мнение, что в реальных условиях процесс метилирования не оказывает существенного влияния на повышение содержания органических соединений ртути в водных объектах.

Весьма разнообразны медико-биологические предпосылки необходимости дальнейшего изучения ртути и ее соединений в геогигиеническом аспекте. Ртуть и ее соединения поступают в организм всеми возможными для токсических веществ путями: с вдыхаемым воздухом — через воздухоносные пути и легкие, с пищей и водой — через пищевой канал, в результате соприкосновения

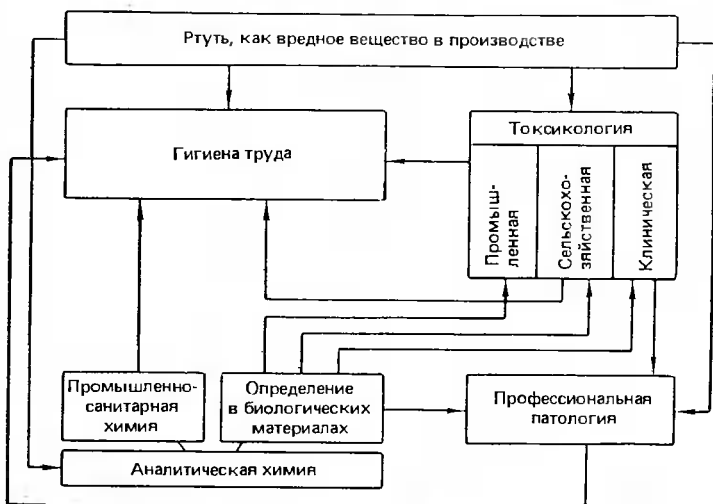


Рис. 6. Схема взаимодействия научных дисциплин, изучающих ртуть и ее соединения как вредные производственные факторы

с загрязненными предметами производственной обстановки — через кожные покровы (рис. 5).

Для оценки неблагоприятного влияния ртути и ее соединений на производственную обстановку и окружающую среду необходимо взаимодействие специалистов различных отраслей науки (рис. 6, 7).

Ртуть и ее соединения являются высокотоксичными веществами как для фауны, так и для флоры. Они занимают одно из первых мест в рядах снижения биологической активности (токсичности) элементов-металлов (табл. 6).

Токсическое влияние ртути и ее соединений на организм проявляется как при поступлении значительных их количеств, так и при действии малых доз и концентраций. Последнее является результатом материальной ку-

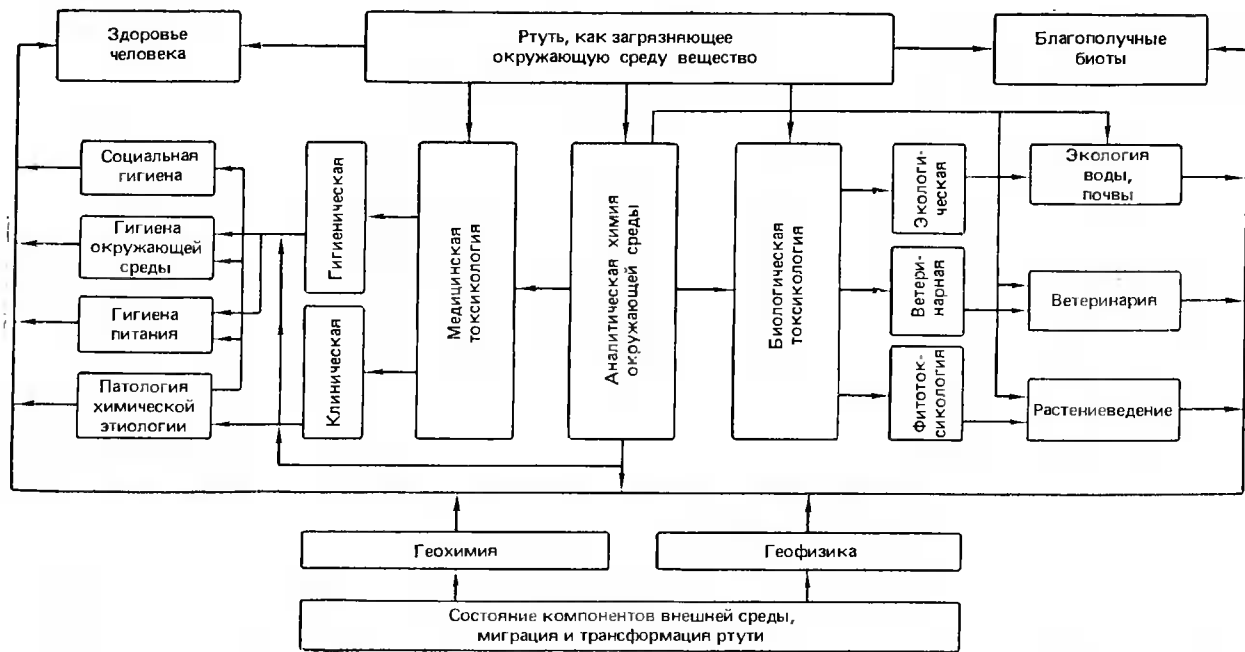


Рис. 7. Схема взаимодействия научных дисциплин, изучающих ртуть и ее соединения как загрязняющие окружающую среду вещества

Таблица 6. Ряды снижения биологической активности (токсичности) некоторых металлов

Ряд снижения активности (токсичности) металлов	Объект исследования, показатель действия
$Hg^{2+} > Cd > Cu^{2+} > Pt > Ag$	Белые мыши; величина средне-смертельной дозы при введении внутрибрюшинно хлоридов металлов
$Hg > Cu > Cd > Fe > Zn > Pb$	Личинки листоногого рака; время гибели 50 % организмов в среде морской воды, содержащей 1, 10, 50 и 100 частей/млн металлов
$Hg > Cu > Zn > Cd > Fe > Pb$	Полихеты; время гибели 50 % организмов в среде морской воды, содержащей 1, 10, 50 и 100 частей/млн металлов
$Hg > Cu > Cd > Pb > Zn$	Диатомовые водоросли; подавление активности фотосинтеза
$Hg > Zn > Cd > Cu$	Клетки <i>E. coli</i> ; подавление на 50 % общей дегидрогеназной активности
$Ag > Hg > Cu > Cd > Cr \dots$	Мальки медака; гибель
$Cd > Hg > Cu > Pt > Zn \dots$	Мыши; токсичность
$Cd > Hg > Ni > Cu > Co \dots$	Дрозофилы; токсичность

Примечание. Троекотие означает, что ряд биологической активности элементов (ионов) продолжается. Степень окисления металлов указана, если она приведена авторами в оригинале.

муляции яда, что обусловлено значительным периодом биологического полусуществования соединений ртути в организме экспериментальных животных и человека (табл. 7) [144, 147, 164, 188—190].

Ртуть относится к веществам, которые аккумулируются растениями и животными. Известны данные, свидетельствующие о способности растений кумулировать ртуть: при содержании ртути в почве до 0,05 мг/кг содержание металла в золе молодой растительности колебалось в пределах 1—5 мг/кг; в областях, почва которых содержала 0,1—2 мг/кг ртути, содержание металла в золе растений повышалось до 20 мг/кг. Еще больше ртути было обнаружено в золе цветной капусты (35 мг/кг), выросшей в саду, где 12 мес. тому назад применялся содержащий ртуть фунгицид.

Токсическое действие ртути и ее органических соединений характеризуется поражением центральной нерв-

Таблица 7. Период биологического полусуществования (ПБП) ртути в организме человека и животных при поступлении в организм различных соединений ртути

Соединение	Характер поступления	Объект воздействия	Объект (матернал) исследования	ПБП, сут
Метилртуть	Однократное пероральное введение в дозе 0,8 мг/кг	Обезьяны	Тело Кровь	134 ± 27 $40 \pm 2,8$
Метилхлорид ртути	Множественное пероральное введение	Коты	Кровь	32 — 36
Метилртуть, связанная с мышечными белками рыб	Однократное пероральное введение	Человек	Тело Эритроциты	71 — 79 50
Метилртуть	Длительное потребление в пищу загрязненного зерна	Человек	Волосы	У 90 % лиц — 35—100 У 10 % лиц — 110—120
Нитрат ртути (раствор в воде или связанный с белками печеночного паштета)	Однократное пероральное введение	Человек	Тело Эритроциты	33 — 48 (42) 16
Неорганическая ртуть, связанная с белком	Пероральное введение	Человек	Печень (наружная радиометрия)	53 ± 15
Ртуть (пары)	Однократное ингаляционное поступление	Человек	Тело, почки, грудная клетка, ткани головы	58 64 43 21

ной системы, причем возникающие изменения трудно-обратимы, особенно при воздействии органических соединений ртути, вызывающих нередко выраженные расстройства психики человека. Избирательное поражение центральной нервной системы при воздействии органических соединений ртути обусловлено рядом обстоятельств, в том числе и тем, что биотрансформация органических соединений ртути в неорганические в ткани мозга выражена минимально, в то время как методом наружной радиометрии обнаружено, что после воздействия диметилртути 20 % общей поглощенной телом дозы радиоактивности приходится на область головы. Установлено также, что срезы мозга морских свинок, инкубированные в среде с добавлением органических соединений ртути, выделяли значительно меньше CO_2 , чем в среде, содержащей неорганические соединения ртути.

Органические соединения ртути более токсичны для неполовозрелых животных малого возраста, о чем, в частности, говорит более длительный период полувыведения метилмеркурхлорида из крови котят 4-недельного возраста (32 сут) по сравнению с длительностью выведения (3 сут) у 10-недельных котят.

Ртуть и ее соединения обладают выраженным эмбриотоксическим и гонадотоксическим действием. По этому вопросу накоплено много сведений экспериментального и клинического характера [21, 23, 29, 31, 50, 62, 115, 139, 165]. Наиболее важным представляется то, что отдаленные эффекты действия ртути и ее органических соединений могут быть связаны не только с непосредственным (чаще всего производственным) контактом человека с ядом. Одна из наиболее важных медико-биологических предпосылок геогигиенического изучения ртути — способность соединений сохранять свою токсичность, «двигаясь» по пищевым цепям в животном мире перед поступлением в организм человека. Так, ртуть была обнаружена в сливочном масле, изготовленном из молока, полученного от коров, которым по ошибке скармливали муку из зерна, обработанного гранозаном. Таким образом, потребители сливочного масла, не имеющие никакого отношения к обработке зерна пестицидами, могли оказаться вовлеченными в сферу воздействия гранозана [117]. Г. Ю. Деменцева [33] описала закончившийся летально случай внутриутробной гранозановой интоксикации в результате употребления женщиной в

пищу в течение 3—5 мес. беременности семян подсолнечника, протравленного гранозаном. Массовое отравление метилртутью лиц в результате потребления продуктов из зерна, обработанного гранозаном, имело место в Ираке. Оценивая содержание ртути в молочных продуктах, следует помнить, что организм коровы играет роль фильтра по отношению к металлам и содержание последних в молоке ниже, чем в рационе коров. Производство сыров, напротив, сопровождается концентрированием металлов по сравнению с их содержанием в молоке в 13—30 раз в силу сродства с белками и снижения содержания воды. Сродство с белком обуславливает также и то, что 90 % ртути, содержащейся в яйцах кур, которым скармливали паноген-15 (дициандиметилртутный препарат), находилось в белке яиц.

Подобные примеры можно продолжить. В 1969 г. в Аламогорде (штат Нью-Мексика) у семи человек было зарегистрировано ртутное отравление. При расследовании было установлено, что накануне они употребляли мясо свиней, которых кормили зерном, обработанным фунгицидом на ртутной основе. Таким образом, определение содержания ртути в органических экстрактах хлебного зерна, мяса свиней, крови и спинномозговой жидкости людей, питавшихся свининой, загрязненной ртутью, в крови и моче матерей после родов и в моче новорожденных позволили сделать вывод о возможности непрямого ртутного отравления людей в результате питания мясом животных, питающихся кормом, содержащим органические соединения ртути.

Трагическим примером более сложной цепи является случай болезни Минаматы и ртутные отравления в префектуре Ниигата (Япония), где в течение 1955—1959 гг. у 26 новорожденных (из 400) были выявлены уродства и врожденные органические заболевания центральной нервной системы. Характерно, что у женщин, родивших детей с признаками внутриутробной интоксикации ртутью, регистрировалось высокое содержание ртути в волосах, но явных признаков отравления не было. Как показало специально проведенное исследование, жители этого района питались преимущественно рыбой, выловленной из залива, куда завод по производству винилхлорида сбрасывал содержащие ртуть отходы. Эти соединения поглощались фитопланктоном и другими водными микроорганизмами, последних поедала мелкая

рыба, которая, в свою очередь, была добычей крупной (хищной) рыбы; с нею уже соединения ртути попадали в организм человека и теплокровных животных. Поведение кошек и собак (они выли, бросались на людей, у них появлялись судороги) обратило на себя внимание жителей близлежащих деревень. А потом среди людей разразилась «эпидемия» страшной болезни — расстройство психики, вплоть до безумия, нарушение координации движений, потеря чувствительности, слуха, зрения, речи, судороги, переходящие в оцепенение, и кома. Болезнь Минаматы называли еще болезнью «ухмыляющейся смерти», так как на лице умершего застывала странная ухмылка.

Существует гипотеза о том, что ртуть, поступающая во внешнюю среду в виде органических соединений, может быть одним из патогенетических факторов атеросклероза, что также расширяет спектр биологических эффектов ртути, относящихся к группе отдаленных последствий. Более высокая частота злокачественных новообразований и других хронических заболеваний печени в качестве причин смерти отмечена среди жителей вблизи г. Минамата в районе с повышенным содержанием метилртути в объектах внешней среды. В то же время вклад этих «специфических» причин, видимо, слишком мал для того, чтобы их влияние можно было обнаружить по величинам средней вероятности продолжительности жизни. Не получило также подтверждения суждение о том, что лица, живущие в районе Минамата и не имеющие явных признаков болезни (заметим, что к концу 1983 г. болезнь Минаматы была с достоверностью установлена у 2723 человек, 728 из которых, или 29,3 %, к этому времени умерли от различных причин), живут в среднем несколько меньше, чем остальные жители Японских островов [205].

Ртуть обладает выраженным действием на водные и наземные формы жизни. Так, добавление $0,04 \text{ мг/дм}^3$ сулемы к пресной и солоноватой воде вызывает уменьшение родового разнообразия микроорганизмов, что снижает стабильность сообществ. При добавлении хлорида ртути (II) или метилртути в питательную среду, в которую помещали корни елей, скорость удлинения корней значительно снижалась (метилртуть токсичнее хлорида ртути (II)) [161].

3.2. Загрязнение внешней среды ртутью и его экологические и гигиенические последствия

Толчком к проведению исследований содержания ртути в различных объектах окружающей среды послужила трагедия Минамата. Было установлено, что воды 1/3 (по последним данным 2/3) территории США имеют высокое содержание ртути. Ртуть в «опасных количествах» выявлена в водах 20 штатов США, в том числе в штатах Алабама, Далавер, Джорджия и т. д. Наибольшие количества ртути и ее соединений были выявлены в донных отложениях в устьях крупных рек.

Рыба, выловленная в Канаде и США, загрязнена ртутью в количествах, превышающих допустимое по федеральным законам содержание ($0,5 \text{ мг/кг}$) в 3—14 раз. Содержание ртути в мясе водоплавающей птицы, зимующей на озере Сент-Клер в Канаде, доходило до $1,7 \text{ мг/кг}$. В среднем промышленные предприятия Канады сбрасывают в Великие озера до 100 т ртути за год; с американских предприятий в водоемы поступает в 2 раза больше ртути, т. е. 200 т, что составляет 9—10 % годовой потребности США в этом металле. Отметим, что общий сброс ртути в водоемы США в 2 раза превышает годовую потребность в ртути такой страны, как Швеция.

В ряде западных штатов США находили трупы орлов, в тканях которых обнаруживали большое количество ртути; ртуть содержалась также и в дичи, употребляемой в пищу, в частности в мясе фазанов.

Ситуация в Европе аналогична. Рейн ежегодно выносит в Северное море среди прочих токсических продуктов 8 т ртути. Содержание ртути в спинных мышцах рыб, обитающих в реке Инн в районе г. Инсбрука (до 1 мг/кг), в 10—15 раз выше, чем в рыбах, выращенных в прудных хозяйствах (в среднем $0,06 \text{ мг/кг}$), обитающих в горных озерах или в притоках и верхнем течении реки ($0,11 \text{ мг/кг}$).

В Швеции также отмечено накопление ртути в сельскохозяйственной продукции, в рыбе и мясе птиц. Это вынудило шведские власти (в качестве временной меры) пойти на повышение допустимого содержания ртути в рыбе до 1 мг/кг и одновременно принять ряд мер ограничительного характера (в частности, с февраля 1966 г. запрещено применение метилртутных соединений в качестве фунгицида). В последующем ртуть переходит

в рыбные продукты, где ее количество достигает 0,9 мг/кг сухого вещества.

Подтверждением относительно недавнего загрязнения ртутью внешней среды Швеции служат данные исследования содержания ртути в оперении 11 видов птиц из музейной коллекции (экспериментально показано, что в оперении откладывается 20—40 % вводимой курам метилртути). Оказалось, что в течение 1840—1940 гг. содержание ртути в оперении практически не изменялось, а за последующие 20 лет оно выросло в 10—20 раз. При этом наиболее высокий уровень обнаружен у птиц, питающихся рыбой, а наиболее низкий — у птиц, питающихся зерном. В дальнейшем в связи с запрещением использования ртутьорганических соединений с 1966 г. наметилась тенденция к снижению их содержания в организме разных видов птиц [211].

Ртуть способна накапливаться в яйцах птиц, куда переходит около 30 % метилртути, вводимой в эксперименте курам. Известен случай отравления женщины, проживающей на Аландских островах, сходный по клинике с отравлением ртутью. При расследовании установлено, что она в течение года питалась яйцами крохале (род птиц семейства утиных), содержащими в среднем 1,4 мг/кг ртути, 78 % которой приходилось на метилртуть.

В эксперименте установлены переход ртути фенолмеркурацетата в яйца кур, получавших фенолмеркурацетат подкожно, и наличие ртути в организме цыплят, выведенных из этих яиц, а также наличие ртути в яйцах интактных кур, спаренных с петухами, получавшими метилмеркурхлорид подкожно. В яйца кур, получавших в течение 32 сут по 1 мг Hg в виде этил-*n*-полисульфонанилида, перешло до 10 % общего количества потребляемой ртути.

Экспериментально была показана также возможность развития интоксикации у хорьков в результате скормливания им цыплят, которые в течение 36—44 сут находились на стандартном рационе с добавлением дициандиамидаметилртути (содержание Hg ~ 8 мг/кг); при этом у цыплят признаков интоксикации не наблюдалось.

Тщательный анализ болезни Минаматы позволил предположить возможность концентрации и превращения в теле биологических объектов одних, менее токсичных соединений ртути в более токсичные, как это имеет место

во внешней среде. Основанием к предположению было то, что содержание ртути в морской воде было невысоким, однако моллюски обладают способностью отфильтровывать из воды вещества, находящиеся в ней в очень малых концентрациях, и накапливать их в своем организме. «Экологическое» обогащение, необходимое моллюскам для сохранения жизни в таком сильно разбавленном растворе питательных веществ, каким является морская вода, привело к концентрированию в их организме таких количеств ртути, что они превратились в «живые сосуды» с ядом. В настоящее время установлено, что содержание ртути в фитопланктоне океана может в 1000 раз превосходить ее содержание в воде океана.

Превращения неорганических соединений ртути в органические в тканях живых существ нельзя отрицать и ввиду того, что бактерии анаэробного цикла способны конвертировать неорганические соединения ртути в органические. Признано допустимым также наличие определенного количества органических соединений ртути в некоторых «продуктах моря», как следствие естественного процесса их образования. Таким образом, метилртуть, являющаяся более токсичной для млекопитающих, чем неорганические соединения ртути, может появляться как естественный конечный продукт, когда неорганические соединения ртути имеются в растворах. Высокое же содержание органических соединений ртути, наблюдаемое, например, в Швеции, США, Японии, является, несомненно, результатом дополнительного поступления такого рода соединений ртути в водоемы в результате человеческой деятельности. Отсутствие динамических наблюдений в прошлые годы не позволяет провести сравнение между естественным содержанием ртути и содержанием ртути как следствием загрязнения. Высказано мнение, что пока уровень метилртути в рыбе был обусловлен естественным содержанием ее в пресной или морской воде, загрязнение колебалось в пределах 0,01—0,20 мг/кг. Очевидно, эти цифры и некоторые другие данные и соображения в какой-то мере учитывались, когда допустимое количество ртутьорганических соединений в рыбе определялось на уровне 0,5 мг/кг.

Исследования показали, что если содержание общей ртути в тканях озерной форели возрастает от 0,19 — 0,24 мг/кг у однолетних особей до 0,44—0,66 мг/кг у 12-летних, т. е. в 2—2,5 раза, то содержание метилртути

за этот же период увеличивается от 0,061—0,098 до 0,0339 мг/кг, т. е. в 3,5—5 раз. Эти данные свидетельствуют о том, что накопление ртути в тканях озерной форели в естественных условиях происходит преимущественно за счет органических соединений ртути: массовая доля органических соединений ртути в общем количестве ртути за этот же период увеличился с 38—40 до 78—88 %.

В целом зависимость между содержанием ртути в пробах мяса, рыбы C и возрастом рыб K носит линейный характер и описывается уравнением $\ln C = 1,3 + \ln(K + 3,14)$. Рассмотрим проблему влияния токсических концентраций ртути на биологические процессы, происходящие в воде. Так, на основании исследований влияния различных соединений ртути на проростки красных морских водорослей установлено, что органические соединения ртути в десятки раз токсичнее неорганических и что токсичность первых возрастает с увеличением числа атомов углерода в молекуле соединения. Зависимость токсичности фенилмеркурацетата от наличия в его молекуле ртути доказывается тем, что фенилуксусная кислота соответствующей концентрации не влияет на рост морских водорослей.

Содержание ртути в яйцах птиц, питающихся рыбой и обитающими в воде амфибиями (0,64—0,83 мг/кг), было значительно выше, чем в яйцах хищных птиц, питающихся наземной пищей (0,06—0,09 мг/кг).

В волосах японцев, не работающих на ртутных производствах, содержится ртути в 4—6 раз больше, чем в волосах проживающих в Японии иностранцев. В основе этого лежит резкое увеличение концентрации ртути в рисе и в других традиционных для японцев сельскохозяйственных продуктах. Высокое содержание ртути в волосах японцев связывается с ежедневным потреблением ими большого количества рыбы и других продуктов моря, содержащих пусть даже незначительные количества ртути [192]. Содержание ртути в волосах японцев, переехавших на постоянное место жительства в Бирму и исключивших из своего рациона рыбу, снизилось через 6 мес., в то время как у японцев, выехавших в Восточный Пакистан и продолжавших питаться продуктами японского происхождения, оно не снижалось в течение 10 мес.

Уникальной представляется попытка изучения содержания ртути в волосах японских женщин за период

с 1881 по 1968 г. [204]. В отобранных 68 пробах были обнаружены соединения ртути. Высший уровень неорганических соединений ртути (среднегеометрическое значение 30,7 мг/кг) приходится на 1920-е годы, высший уровень органических соединений ртути (19,0 мг/кг) — на 1960-е. Эти значения статистически достоверно отличались от соответствующих значений содержания ртути в другие периоды. Сопоставление содержания ртути с такими рассматриваемыми в динамике возможными факторами повышенного поступления элемента в организм человека, как использование косметики, использование каменного угля для отопления домов, общее производство ртути, использование ртутьсодержащих соединений в сельском хозяйстве (в Японии преимущественно применялись фенилртутные препараты, отличающиеся быстрым распадом до неорганических соединений ртути и малой конверсией в алкильные производные), потребление рыбы в пищу, показало, что пик содержания неорганических соединений ртути в 1920-е годы обусловлен применением косметики, а пик содержания органических соединений ртути в 1960-е годы — загрязнением водной среды и потребляемых продуктов моря метилртутью.

Содержание ртути в крови и волосах французов, потреблявших в неделю около 3 кг рыбных и морских продуктов, было более высоким, чем у французов употреблявших 1—1,5 кг рыбных продуктов в неделю [145].

Содержание ртути в клетках и плазме крови (соответственно 120 и 15 нг/г) у лиц, потребляющих в пищу рыбу, выловленную из водоемов, загрязненных метилртутью, было значительно выше, чем у лиц контрольной группы (соответственно 9,4 и 3,1 кг/г). При этом была обнаружена существенная обратная корреляция между содержанием ртути в крови и активностью дегидразы δ -аминоленуленовой кислоты эритроцитов (содержание свинца в цельной крови лиц сопоставленных групп не отличалось и составляло 10 мкг/л).

Содержание ртути в крови аборигенов Хольмана (Северная Канада) было несколько выше, чем в целом по стране, хотя оно не достигало угрожающих уровней. Изменение рациона аборигенов в сторону увеличения потребления мяса тюленей может привести к опасному увеличению содержания ртути в их организме.

Сельскохозяйственная продукция Швеции содержит ртути больше, чем Норвегии и Дании, причем максималь-

ные значения содержания ртути в свинине (0,13 мг/кг) намного превышают уровень остаточного количества ртути в пищевых продуктах (0,005 мг/кг), рекомендованный продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН и ВОЗ. Содержание ртути в молоке в Пуэрто-Рико колебалось в пределах 0,040—0,056 мг/кг, что в среднем в 4 раза больше, чем в США.

Нарастание содержания ртути в сельскохозяйственной продукции, в свою очередь, приводит к тому, что поступление ртути в организм человека (по рекомендации ВОЗ оно не должно превышать 0,3 мг в неделю) оказывается выше допустимого и как следствие растет содержание ртути в организме человека. Так, если в сыворотке крови жителей Швеции содержится в среднем 2,01—2,89 мг/г ртути, то у населения, питающегося рыбой одного из шведских озер, загрязненных ртутью, оно составляет 4,8—13,4 мг/г. Настораживает тот факт, что на долю органических соединений ртути приходится в среднем 65 % (максимум — 95 %) соединений ртути, обнаруженных в человеческой плаценте после нормальных родов [152].

Постоянное присутствие ртути во многих сортах сигаретного и трубчатого табака, а также в сигаретной бумаге служит источником дополнительного поступления ртути в организм курильщиков. Установлено более высокое содержание ртути и свинца в волосах детей, родители которых работают в контакте с этими металлами, что свидетельствует об участии работающих в распространении токсичных элементов в окружающей среде и переносе их на загрязненной одежде, открытых участках тела.

Поступление тяжелых металлов в биологические компоненты экосистемы приводит к преимущественному накоплению загрязняющих веществ отдельными ее звеньями, создавая тем самым неблагоприятные условия для их жизнедеятельности и функционирования всей экосистемы. Для экосистем суши, например, таким звеном являются мышевидные грызуны. Будучи типичными фитофагами, мышевидные грызуны выполняют роль вторичных продуцентов, практически полностью обеспечивающих пищевые потребности животных высших трофических уровней. Отсутствие существенных различий в токсичности большинства тяжелых металлов для различных млекопитающих позволяет рассматривать грызунов

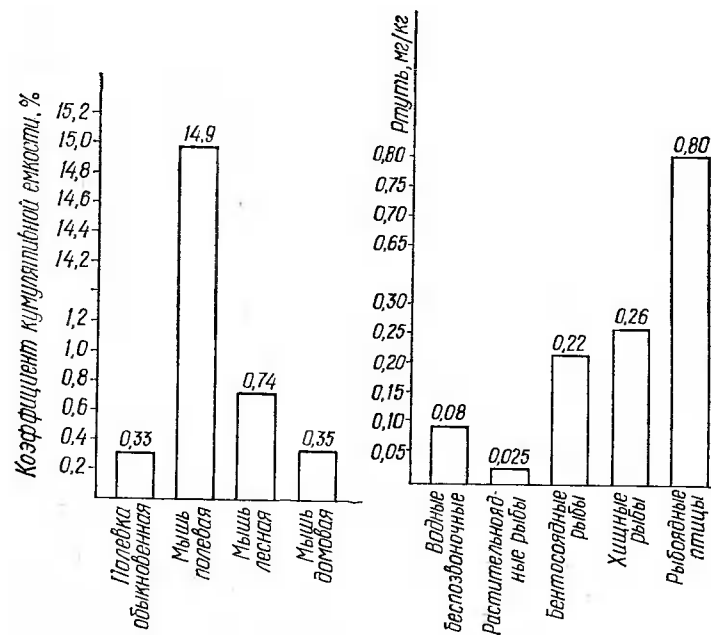


Рис. 8. Накопление ртутьсодержащих соединений в организме мышевидных грызунов (по Л. Ф. Васьковской, 1985)

Рис. 9. Накопление ртути в тканях гидробионтов и рыбоядных птиц (по Л. Ф. Васьковской, 1985)

в качестве типичных представителей высших животных, что обусловило широкое использование лабораторных крыс и мышей в экспериментальной токсикологии. В частности, разработанная В. С. Безземлем модель обмена ртути в организме лабораторных крыс, как показано автором, в последующем «работает» для полевки обыкновенной, лесной мыши и рыжей полевки [11].

Хорошо изучена популяционная экология мышевидных грызунов. Л. Ф. Васьковская [22] с помощью разработанных ею тестов (экологического, химического, коэффициента кумулятивной емкости, коэффициента суммарной нагрузки и коэффициента метаболизма) установила для ртутьпроизводных препаратов универсальным индикаторным видом степной зоны полевку обыкновенную, для остальных ценозов суши — мышь полевую (рис. 8).

Изучение циркуляции и трансформации ртутьпроиз-

водных препаратов в системе окружающая среда — биологический объект показало, что водная растительность накапливает ртуть в незначительных количествах и содержание ртути в питающихся ею рыбах (толстолобик белый) невелико. Напротив, в рыбе, питающейся донными беспозвоночными (сазан, лещ), содержатся высокие концентрации ртути. На основании этого предложена следующая цепь миграции и концентрации ртути в водной среде: вода и иловые отложения — водная растительность — водные беспозвоночные — организмы растительноядных, бентосоядных, хищных рыб и рыбоядные птицы (рис. 9). Комплексное использование в ихтиопатологии химических, токсикологических, паразитологических, биохимических, иммунологических и гистологических методов позволило рекомендовать рыб карпа и карася в возрасте до 1 г. для использования в качестве индикаторов загрязнения водной среды ртутьсодержащими соединениями.

Тот факт, что США, Швеция и Япония находятся в различных точках земного шара и что их разделяют тысячи километров, свидетельствует о необходимости признания прав на первоочередное изучение ртути с гигиенических позиций. Показательно, что группа экспертов, изучавшая степень риска для человека, потребляющего загрязненную метилртутью рыбу, оценила ее как глобальную проблему, особенно важную для населения тех стран, белковый рацион которых обеспечивается рыбой и продуктами моря.

Учащаются случаи диагностируемых ртутных отравлений лиц, непосредственно не связанных ни с производством, ни с использованием ртутьсодержащих соединений. Так, с августа 1964 г. среди населения долины реки Огано начали регистрироваться случаи ранее неизвестного заболевания, которое в январе 1965 г. было диагностировано как отравление алкилртутью. Больные с симптомами отравления продолжали поступать до июля 1965 г. Массовое обследование выявило еще 26 пострадавших. Содержание ртути в их волосах колебалось в пределах 66—750 мг/кг, в моче — 53—670 мкг/сут, в крови — 10,6—90,8 мкг/дл. Ртуть была обнаружена в рыбе, выловленной в низовьях реки и вблизи сброса сточных вод химических предприятий. В отдельных экземплярах рыбы содержание ртути доходило до 41,0 мг/кг. По мнению исследователей, источником загрязнения

могли послужить либо сточные воды химических производств, либо ртутьорганические пестициды.

Явными последствиями использования органических соединений ртути для протравливания семян являются случаи пищевых отравлений после употребления протравленного зерна или приготовленной из него муки. Начиная с 1956 г. на земном шаре зарегистрировано 6 случаев массового отравления ртутьорганическими соединениями при употреблении в пищу протравленного пестицидами зерна (табл. 9). Общее число пострадавших

Таблица 9. Случаи массового отравления людей при употреблении в пищу зерна, протравленного ртутьсодержащими пестицидами

Год	Страна	Число пострадавших	Число умерших	Летальность, %
1956	Ирак	Около 100	14	14
1960	Ирак	Около 100	31	31
1960	Западный Пакистан	34	4	12
1965	Гватемала	45	20	44
1972	Ирак	6350	459	7
1974	Гана	144	20	14

6873, из них умерло 548 человек, летальность составляет в среднем 8 % при колебаниях от 7 (Ирак, 1972г.) до 44 % (Гватемала, 1965 г.). Столь высокая летальность, зарегистрированная в последнем случае, может быть обусловлена недостаточным учетом общего числа пострадавших.

Эти и аналогичные случаи представляют собой результат грубого нарушения элементарных требований гигиены питания и являются дополнительным аргументом при гигиенической оценке окружающей среды в связи с загрязнением ее отдельных компонентов ртутью.

Повышение общего фона содержания ртути во внешней среде требует уточнения тех показателей ее содержания в тканях организма, которые необходимо учитывать как физиологические при судебно-медицинских исследованиях. Как показали Н. Г. Петросян и А. А. Гранкина [105], при использовании в судебной экспертизе метода дробного определения ртути в трупном материале в значительном количестве наблюдений, где нет оснований предполагать прижизненное воздействие на организм соединений ртути, количество ее в печени и почках значительно превышает показатели, которые должны учиты-

ваться при судебно-медицинской оценке результатов анализа как естественное содержание (0—0,01 мг/г в печени и 0—0,04 мг/г в почках).

В заключение приводим сводные данные (табл. 10) о содержании метилртути в цельной крови, эритроцитах и волосах людей в «норме», при летальных исходах и при употреблении в пищу рыбы, загрязненной метилртутью.

Таблица 10. Содержание метилртути (в пересчете на ртуть) в биосредах человека

Биосреда	Содержание ртути		
	В норме	При летальных исходах отравлений	У лиц, употребляющих загрязненную рыбу
Цельная кровь, нг/кг	5	1300	155—650
Эритроциты, нг/кг	10	2400	822—1200
Волосы, мг/кг	10	500	56—185

Эти цифры не могут не вызвать тревогу: в ряде случаев у лиц, питавшихся загрязненной метилртутью рыбой, содержание ртути оказалось всего в 2 раза ниже, чем при отравлениях с летальным исходом.

Оценивая перспективы возможного дальнейшего возрастания суточного поступления ртути в организм человека (5 мкг в тридцатых годах и 20 мкг в начале семидесятых), авторы работы [146] отмечают, что оно достигло 1/2 критического уровня, при котором ртуть и ее соединения могут поступать в организм без ущерба для здоровья. Если темпы роста содержания ртути в биосфере сохранятся, то критический уровень будет превзойден в ближайшее время.

Таким образом, включение ртути в число соединений, в отношении которых еще в начале семидесятых годов под эгидой ВОЗ проводилось изучение нормального их содержания в организмах людей различных стран мира, весьма своевременно и глубоко обосновано [214]. Динамические наблюдения за содержанием ртути в крови и моче лиц, проживающих в различных частях земного шара, и соответствующий анализ получаемых при этом данных может оказать существенную помощь в сигнализации о нарастании загрязнений как в отдельной взятой стране, так и в масштабе земного шара. Уже сейчас следует приложить все усилия и мобилизовать необходимые

средства, чтобы избежать дальнейшего загрязнения биосферы, поскольку те количества ДДТ, ртути и свинца, которые в настоящее время циркулируют в биологических системах, обуславливают сохранение опасности на десятки лет, если даже все дальнейшие загрязнения будут немедленно исключены. Даже после прекращения поступления метилртути она может сохраняться в воде в течение 10—100 лет.

Однако среди исследователей существуют мнения [173] о том, что опасения о загрязнении океана ртутью необоснованны, поскольку естественное содержание ртути в океане намного превосходит количество металла, поступающего за счет производственной деятельности человека, а обнаружение ртути в мясе рыб открытых морей (тунец, меч-рыба и др.) обусловлено естественной ртутью, содержащейся в морской воде. Автор игнорирует два очевидных обстоятельства: первое — концентрация ртути в воде мирового океана крайне ничтожна; второе — основным фактором загрязнения биосферы являются высокотоксичные органические соединения ртути. Так, объединенная группа экспертов специализированных органов ООН отнесла соединения ртути к числу тех веществ, в отношении которых при транспортировании морем необходимо применение специальных мер для предупреждения их поступления в океан, так как они представляют наибольшую опасность для здоровья человека или морских ресурсов и могут значительно препятствовать культурно-оздоровительному использованию моря.

Широкое применение ртути в различных отраслях народного хозяйства и обусловленное этим загрязнение окружающей среды приводит к возможности воздействия ее соединений на организм людей внепроизводственных условий. При этом возможны как острые, так и хронические отравления. Можно выделить три независимых пути внепроизводственных поступлений (воздействий) ртути и ее соединений.

1. Использование ртути в различных лекарственных препаратах (ртутные мочегонные, антимикробные средства в дерматологической практике) при неправильной дозировке или индивидуальной повышенной чувствительности приводит к многочисленным случаям острых и хронических отравлений. Этому способствует также и то, что через поврежденные слизистые оболочки или

кожу всасывается относительно больше ртути. Описаны случаи отравления оксидом ртути после повторных промываний мочевого пузыря, серно-ртутной мазью (с развитием токсико-аллергического миокардита), метилртутным тиоацетамидом при лечении грибковых заболеваний. В педиатрии возможность отравления солями металлической ртути при наружном применении обусловлена большой резорбционной способностью кожи ребенка. Поэтому при назначении детям препаратов солей тяжелых металлов необходима особая осторожность.

Таким образом, лекарственные вещества являются существенными факторами возможного повышенного содержания ртути в организме лиц, не соприкасающихся с ртутью и ее соединениями в производственных условиях. Однако это повышение, как правило, ограничено во времени, поскольку лекарственные ртутьсодержащие препараты быстро выводятся из организма через почки и кишки.

2. Применение в пищу сельскохозяйственной продукции, загрязненной ртутью, прежде всего изделий из зерна, обработанного ртутьсодержащими пестицидами, или в результате употребления в пищу мяса домашних животных, которым скармливали протравленное зерно, является вторым внепрофессиональным источником поступления и накопления ртути в организме.

Самым массовым из зарегистрированных считается отравление, происшедшее в Ираке в 1971—1972 гг.

Обследование показало, что единственным источником отравлений людей был хлеб, в котором ртуть присутствовала в виде метилртути. Выпечка хлеба практически не снижала содержания в нем метилртути, достигавшего 5—10 мг/кг. Это заключение было подтверждено идентификацией метилртути как доминирующей формы в различных тканях пострадавших. Загрязненный метилртутью хлеб употреблялся в среднем в течение 0,5—3 мес.; первые поступления пострадавших в больницу были зарегистрированы через 1—1,5 мес. после начала употребления в пищу такого хлеба. Приблизительно к 50 % лиц, сообщивших об употреблении в пищу загрязненного хлеба, наблюдались симптомы и (или) признаки, которые этиологически могли быть обусловлены воздействием метилртути. О тяжести поражения свидетельствует то, что летальность в наиболее пораженном районе составляла 21 %. Симптомы поражения были харак-

терны для воздействия алкилртути — нарушение чувствительности, расстройство походки и артикуляции, концентрическое сужение поля зрения, раздражение слизистой пищевого канала, эксфолиативный дерматит. В отличие от описанных ранее случаев (например, болезнь Минаматы), большинство больных со слабо выраженными симптомами отравления были полностью или почти полностью излечены, что несколько меняет представление о необратимости последствий отравлений алкилртутью. Возможно, относительно более благоприятное течение интоксикации и сохранение способности к восстановлению утраченных функций обязано продолжительности воздействия по сравнению с тем, что имело место в Японии, где поступление избыточных количеств ртути в организм продолжалось годами.

Отравления во внутриутробном периоде не отличались от таковых в Японии и характеризовались тяжелыми и практически необратимыми поражениями мозга плода. При динамическом клиническом исследовании 15 пар матерей и детей в течение двух лет признаки отравлений были обнаружены у семерых детей. Было подтверждено более тяжелое течение отравлений у детей (возможно, это обусловлено тем, что степень всасывания металлов из пищевого канала у детей в 5 раз выше, чем у взрослых). Двухгодичный период после прекращения воздействия был признан недостаточным для окончательного суждения об отсутствии поражения организма ребенка.

Несмотря на все трудности в определении взаимозависимости доза — эффект, при такого рода исследованиях было показано наличие такой связи для парестезии, атаксии и летального исхода.

В качестве мер профилактики отравлений людей пищевыми продуктами, загрязненными ртутьсодержащими пестицидами, совместное совещание ФАО/ВОЗ рекомендовало ограничить использование алкилртутных соединений для протравливания семян, ограничить экспорт таких семян, ввести метку семян, обработанных РОС, и мешков, в которые они затарены. Признано целесообразным изучить возможность добавления в обработанные семена горьких, рвотных средств или других «сигнальных» веществ. В СССР, в частности, к этилмеркурхлориду добавляют краситель — фуксин, и препаративная форма в силу этого приобретает розовый цвет, а зерно —

розоватый оттенок. Тем не менее были отмечены неоднократные бытовые (пищевые) отравления ртутьсодержащими пестицидами [63,100].

Н. Д. Мухтаровой [94] проанализированы отдаленные последствия патологии нервной системы у лиц, которые в течение двух-трех лет употребляли в пищу мясо-молочные продукты, загрязненные небольшими количествами этилртутихлорида в результате скормливания животным зерна, протравленного гранозаном. При динамическом обследовании (через 1,5 и 3 года после воздействия вещества) было отмечено увеличение количества жалоб, указывающих на патологию гипоталамических структур мозга, и уменьшение количества жалоб, указывающих на патологию периферической нервной системы. Выявленные автором особенности нейротоксического процесса (стойкое изменение функций симпатико-адреналовой системы в сторону угнетения активности обоих звеньев, сосудистая патология головного мозга по типу преходящих нарушений мозгового кровообращения, преимущественное вовлечение в процесс гипоталамических структур, клинически протекающее в виде нейроэндокринной и вегетативно-сосудистой формы) имеют определенное дифференциально-диагностическое значение, хотя и несколько ослабленное в силу отсутствия сведений о предшествующем статусе и профмаршруте пострадавших и малочисленности группы обследованных.

Установлены положительные корреляции между частотой лейкозов у жителей сельской местности (Польша) и содержанием ртути в оболочке семян из этих районов, а также между частотой лимфолейкоза крупного рогатого скота и количеством использованных в этой местности фунгицидов [157]. Концентрация ртути в молоке коров, больных лимфолейкозом ($0,21 \pm 0,05$ мг/кг), почти в два раза превышала аналогичный показатель здоровых коров ($0,12 \pm 0,03$ мг/кг).

3. Третьим путем внепрофессионального поступления ртути и ее соединений в организм человека является введение ртутьсодержащих соединений в косметические изделия. Отмечены случаи регламентации неоправданно высокого содержания ртути в косметических изделиях [197].

Встречаются описания фактов и случайного поступления в организм ртути или ее соединений или приема (поступления их) в суицидальных целях. Хотя они и не

имеют прямого отношения к рассматриваемым вопросам, подобные случаи также нельзя выпускать из поля зрения, когда речь идет о причинах повышенного поступления, содержания и выведения ртути из организма человека.

4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РТУТЬЮ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Ртуть среди прочих элементов-металлов является ярким примером подтверждения пророческого высказывания В. И. Вернадского о том, что человек распространяет свое влияние на все химические элементы. Он изменяет геохимическую историю всех металлов. С дальнейшим развитием цивилизации влияние этих процессов должно все возрастать, миграция атомов на биогенном базисе будет все больше расширяться [26, т.1].

Характеристику загрязнения ртутью внешней среды целесообразно начать с перечисления важнейших производств и технологических процессов, связанных с использованием ртути. Последние в силу большой испаряемости ртути почти при любой температуре представляли не только осознанную в начале XVII в. опасность для работающих со ртутью, но и длительное время неосознаваемую опасность их для окружения. Первую попытку представить перечень профессий лиц, работающих со ртутью, и охарактеризовать условия их труда предпринял основоположник профессиональной медицины Б. Рамаццини. В его списке — горнорабочие, позолотчики, химики, фармацевты, живописцы.

Естественно, что развитие техники и технологии привело к тому, что сегодня перечень Б. Рамаццини имеет только познавательное значение.

В первой четверти XX в. список наиболее важных с гигиенической точки зрения ртутных производств включал добычу руды, плавление ее в печах, производство физических приборов, извлечение золота и серебра, производство ртутных химических препаратов, зеркальное производство, обработку заячьих шкур, производство фетра. Профессиональные ртутные отравления возможны практически всюду, где приходится иметь дело со ртутью, т. е. при добыче и обработке ртутной руды, в производстве и при различных видах применения металла.

В целом в течение небольшого отрезка времени (последняя четверть XIX — первая половина XX в.) ртуть завоевывала себе все новые сферы применения. Так, если в конце прошлого и начале нынешнего столетий насчитывали около 30 производств, в которых возможно было возникновение ртутных интоксикаций, то уже в первой четверти XX в. их число превысило 40, а в середине пятидесятых годов сообщалось о наличии свыше 80 профессий, связанных с возможностью длительного контакта рабочих со ртутью.

На основании анализа результатов периодических медицинских осмотров лиц, работающих со ртутью и ее соединениями, к числу важнейших производств и процессов, связанных с опасностью токсического воздействия ртути и ее соединений, должны быть отнесены следующие:

1) добыча ртутных руд и их пирометаллургическая переработка;

2) розлив, фильтрация, очистка и транспортировка металлической ртути;

3) производство приборов с ртутным заполнением (термометров, манометров, насосов, различных измерительных электротехнических приборов, контактов, выпрямителей и т. п.);

4) производство вакуумных приборов (электрических ламп накаливания, кварцевых ламп, ртутно-аргонных, рентгеновских трубок, радиоламп и т. п.);

5) производство фармацевтических препаратов (сулема, каломель, оксиды ртути, салерган, салицилат ртути, цианид ртути (II), новазурол и др.);

6) производство гремучей ртути и пиротехнических изделий из нее;

7) извлечение благородных металлов из руд, сплавов, цветного лома и отходов, прочие методы амальгамирования;

8) электролитическое производство с использованием ртути в качестве катода (производство хлора и каустической соды);

9) применение ртути и ее соединений в качестве катализаторов при различных химических процессах;

10) производство органических ртутьсодержащих соединений, в том числе пестицидов.

Со временем перечень важнейших опасных по ртути производств изменяется. Так, ушло в историю примене-

ние нитрата ртути (II) в производстве фетра, сулемы — для антисептирования древесины, дезинфекции и обработки рук медицинского персонала, металлической ртути — для золочения и т. п. Напротив, относительно недавно соединения ртути стали применяться в качестве катализаторов, для борьбы с плесенью в производстве бумаги и т. д. В качестве иллюстрации приведем результаты исследования, предпринятого в производстве вискозного волокна [68].

Современная технология вискозного производства включает ряд последовательных процессов, осуществляемых по поточной схеме. Нагретая до 48—50 °C рабочая щелочь вступает во взаимодействие с мелко измельченной целлюлозой — происходит процесс мерсеризации. Избыток щелочи отжимается валками машин непрерывной мерсеризации и возвращается в технологический процесс, а алкалицеллюлоза в виде массы, содержащей 16—17 % щелочи, 28—31 % целлюлозы и 52—57 % воды, после 36-часового «созревания» обрабатывается сероуглеродом — происходит процесс ксантогенирования. Образующееся при этом новое вещество — ксантогенат целлюлозы — в отличие от алкалицеллюлозы растворимо в воде и слабых щелочах, что позволяет использовать его для получения коллоидного раствора — вискозы. Вискоза очищается на фильтрах от посторонних примесей, обезвоздушивается, «созревает» и в зависимости от характера выпускаемой продукции превращается либо в волокно, либо в пленку.

Одной из особенностей технологии является то, что для мерсеризации необходима высококачественная щелочь, вырабатываемая электролитическим путем. Катодам при электролизе служит металлическая ртуть. При электролизе раствора поваренной соли примеси ртути попадают и в вырабатываемую щелочь.

Этот факт до последнего времени не был отмечен гигиенистами и абсолютно не учитывался при проектировании, оборудовании и эксплуатации комбинатов искусственного волокна. ГОСТ 2263—79 на электролитическую щелочь не регламентировал допустимые количества примесей ртути, т. е. не была предопределена необходимость проведения специальных мероприятий по профилактике ртутной «опасности». В ГОСТ 11078—78 было признано допустимым наличие 0,00125 % ртути в 100 % продукта.

Анализ состояния воздушной среды в помещениях химического цеха комбината показал наличие загрязнений парами ртути. Средние содержания их на рабочих местах аппаратчиков содовой станции, в отделениях мерсеризации и предсозревания при температуре 27—29 °С в 4—5 раз превышали ПДК, постепенно снижаясь в отделениях темпериования до 0,03 мг/м³ и ксантогенирования — до 0,015 мг/м³. В вязком погребке содержания паров ртути не превышали 0,01 мг/м³.

Более высокие содержания паров ртути выявлены в местах, где щелочь или алкалицеллюлоза соприкасаются с воздухом — над баками с рабочей щелочью — 0,11 мг/м³, над баками с исходной щелочью — 0,16, над виброконвейером машины непрерывной мерсеризации — 0,10, над конвейером, по которому движется алкалицеллюлоза в отделение предсозревания, — 0,06, при переходе массы в бункер-весы отделения ксантогенирования — 0,02 мг/м³.

Таким образом, основные технологические этапы получения вязкой сопровождаются интенсивным выделением паров ртути и загрязнением ими воздуха рабочей зоны. Снижение содержания ртутных паров по ходу технологического процесса как у мест выделения, так и в воздухе рабочей зоны, возможно, связано с тем, что основная масса ртути, содержащаяся в алкалицеллюлозе, испаряется при высокой температуре в отделении мерсеризации и при ее созревании. Обработанная сероуглеродом алкалицеллюлоза уже не является столь интенсивным источником паров ртути, как в начале технологического процесса. Это в определенной мере подтверждается тем, что у отверстий труб в отделениях предсозревания и темпериования, в которых алкалицеллюлоза длительно задерживается, наблюдаются наивысшие из обнаруженных содержаний ртутных паров — соответственно 0,17 и 0,20 мг/м³. Снижение содержания паров ртути в отделении ксантогенирования и на последующих этапах, возможно, обусловлено тем, что обработка алкалицеллюлозы сероуглеродом приводит к связыванию ртути и выпадению в осадок ее сульфида. Кроме того, технологический процесс идет при обычной температуре и указанные помещения оборудованы общеобменной вентиляцией для ассимиляции избытков сероуглерода.

Для подтверждения предположения о том, что перво-

источником паров ртути является щелочь, были проведены лабораторные анализы исходной, рабочей, оттекающей от аппарата мерсеризации и растворительной щелочи на наличие примесей ртути. Также была проверена возможность выделения паров ртути сырьем и промежуточными продуктами на различных этапах технологического процесса. Проверка осуществлялась следующим образом: навески материала, равные 100 мл для щелочи и 50 г для алкалицеллюлозы, помещались на 48 ч в плотно закрытые резиновыми пробками стеклянные колбы одинаковой вместимости, куда был помещен бумажный индикатор на ртуть. Учет реакции проводился на основании изменения окраски индикатора (положительная — порозовение индикатора и отрицательная — отсутствие изменения окраски) и времени начала порозовения при положительной реакции (табл. 11).

Таблица 11. Характеристика электролитической щелочи как источника паров ртути в вязком производстве

Щелочь	Содержание ртути, %	Характер реакции	Время изменения окраски, мин
Исходная	0,0005 — 0,0007	+	60
Рабочая	0,0002 — 0,00025	+	90
Мерсеризационная	0,0001	—	—
Растворительная	—	—	—

Из данных табл. 11 следует, что по мере прохождения щелочью отдельных этапов технологического процесса отмечается постепенное снижение содержания ртути в ней. Параллельно с этим уменьшается и способность щелочи выделять пары ртути, а следовательно, служить источником загрязнения воздуха рабочей зоны. Снижение содержания ртути в рабочем 18 %-м растворе щелочи по сравнению с исходным 50 %-м раствором обусловлено разбавлением последнего, что имеет место при приготовлении рабочих растворов. Растворительная щелочь (4 %-й раствор), кроме того, включается в процесс при обычной температуре. Снижение содержания примесей ртути в щелочи, оттекающей от аппарата непрерывной мерсеризации, является следствием того, что часть ртути адсорбируется целлюлозой, которая в силу этого стано-

вится основным источником загрязнения парами ртути производственных помещений химического цеха. Кроме того, щелочь, связанная с целлюлозой, также содержит в себе примеси ртути (табл. 12).

Таблица 12. Характеристика полупродуктов производства вискозы как источников паров ртути

Анализируемый материал	Характер реакции	Время изменения окраски, ч
Целлюлоза	—	—
Пульпа (целлюлоза + щелочь)	+	24
Отжатая алкалицеллюлоза	+	1
Алкалицеллюлоза, прошедшая предсозревание	Слабо ⁺	24
Алкалицеллюлоза, прошедшая темперирование	Слабо ⁺	24
Вискоза	—	—

Данные табл. 12 свидетельствуют о том, что: а) целлюлоза, обработанная щелочью, приобретает способность выделять пары ртути; б) во время прохождения процесса предсозревания алкалицеллюлоза выделяет в воздух основную массу содержащейся в ней ртути; в) алкалицеллюлоза, обработанная сероуглеродом, не выделяет паров ртути в течение 48 ч экспозиции.

Таким образом, можно сделать вывод, что описанный технологический процесс и используемое оборудование не отвечают требованиям санитарного законодательства к технологическим процессам, характеризующимся выделением токсичных веществ. Так, в частности, места поступления паров ртути в воздух (баки с растворами щелочи, конвейеры алкалицеллюлозы, места ее пересыпок и т. д.) не были укрыты и не оборудованы местными отсосами, имел место непосредственный контакт рабочих с сырьем и промежуточными продуктами, способными выделять пары ртути. Помещения не оборудованы механической вентиляцией, в них не предусмотрены специальные мероприятия по защите строительных конструкций, рабочей мебели и производственного оборудования от сорбции ртутных паров. Последнее привело к образованию вторичных источников загрязнения воздуха парами ртути. Лабораторными анализами установлено наличие сорбированной ртути в набеле стен содовой станции

(среднее содержание 0,07 мг/г по данным 10 анализов), кирпичной кладке стен (0,1 мг/г по 12 анализам), штукатурке стен отделения мерсеризации (0,12 мг/г по 13 анализам). Сорбированная ртуть обнаружена также в кирпичной кладке стен отделений мерсеризации и предсозревания, в штукатурке стен отделений ксантогенирования, растворения и вискозного погреба, но в значительно меньших количествах, что в определенной мере соответствует и степени загрязнения воздуха указанных отделений. Вторичными источниками являются также деревянные конструктивные элементы здания и рабочая мебель.

Специфика объекта заключается еще и в том, что сорбция ртути происходит в условиях щелочной агрессии, защита против которой также не была предусмотрена. Отметим, что защита конструкций от ртути в условиях щелочной среды представляет значительную трудность и требует применения специальных материалов и особой технологии.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что щелочь, получаемая электролизом на ртутном катоде, является источником паров ртути в воздухе производственных помещений цехов вискозного производства, которые с полным основанием следует отнести к категории «опасных» по ртути.

Показательно то, что в данном случае, как и в ряде других новых технологических процессов, источником загрязнения воздуха служат относительно небольшие количества ртути, являющиеся примесями к сырью или катализаторами химических реакций. Это существенно изменяет наши представления о тех производствах, которые принято относить к категории «опасных» по ртути, и подтверждает мнение, что «опасные» по загрязнению ртутью окружающей среды производства многочисленны и разнообразны. Чтобы определить, какие отрасли народного хозяйства являются важнейшими потребителями ртути (и потенциально играют ведущую роль в загрязнении окружающей среды), их условно можно подразделить на группы. Структура потребления ртути развитыми капиталистическими странами примерно одинакова и существенно не отличается от представленных ниже средних значений: производство хлора и щелочи — 25 % валового потребления, производство красок — 15, систем измерений и контроля — 10, стома-

тология — 3, лабораторная деятельность — 2, сельское хозяйство — 5, производство катализаторов, антикоагулянтов для целлюлозной промышленности, фармацевтическое и косметическое производство, процессы амальгамирования и производство детонаторов — 20 %.

В последние годы наметилась тенденция изменения отраслевой структуры потребления ртути, но тем не менее удельный вес в ней хлорщелочного производства, электро- и приборостроения, производств ядохимикатов, красок, детонаторов и фармацевтических средств остается по-прежнему высоким.

4.1. Производство и использование ртути и ее соединений в промышленности

Уровень антропогенного загрязнения ртутью объектов окружающей среды определяется во многом характером и масштабами выполняемых в условиях производства «ртутных» процессов и операций, а также удельным весом производственных потерь ртути и содержащих ее продуктов. Как полагают американские ученые, из 100 тыс. т ртути, использованной в США в XX в., около 1/3 поступило в окружающую среду. В то же время особенностью техногенного загрязнения ртутью окружающей среды является то, что не только ртуть и ее соединения как таковые являются его материальными источниками (табл. 13). Термическая переработка ртутной и полиметаллической руд и нерудных ископаемых материалов (содержание ртути в наиболее распространенных минералах составляет 0,01—0,73 мг/кг), сжигание разнообразных видов органического топлива (содержание ртути в углях колеблется в диапазоне 0,01—3,3 мг/кг) сопровождаются поступлением во внешнюю среду таких количеств ртути, которые соизмеримы с поступлением данного элемента в процессе технологических операций, где непосредственно используется ртуть и ее соединения. По мнению автора работы [143], ежегодный выброс ртути только с дымовыми газами, образующимися при сжигании угля, достигает $2,72 \cdot 10^3$ т, с вентиляционными выбросами цементной промышленности — $2,5 \cdot 10^2$ т.

Таким образом, все многообразие конкретных промышленных источников загрязнения ртутью внешней среды можно условно сгруппировать так:

Таблица 13. Основные источники, обуславливающие техногенное загрязнение окружающей среды ртутью и ее соединениями

Природные и техногенные материалы и продукты как источники поступления ртути в окружающую среду	Отрасль промышленности (типичные технологические процессы), место материального источника загрязнения в технологическом процессе	Вид производства, сфера применения
Руда (ртутная, полиметаллическая)	Цветная металлургия, термическая переработка; сырье	Производство ртути, цветных металлов (меди, цинка и т. д.), серной кислоты Производство цемента
Нерудные ископаемые материалы Органическое топливо (уголь, торф, нефть, древесина) Ртуть и содержащие ее технологические полупродукты и целевые продукты	Термическая переработка; сырье Сжигание и термическая переработка; сырье Химическая, химико-фармацевтическая, электротехническая, амальгамирование; сырье, вспомогательный материал, наполнитель, катализатор, технологическое оборудование (ртутный катод) Химическая, химико-фармацевтическая, электротехническая; сырье, катализатор, компонент изделия, используемый продукт	Производство тепловой и электрической энергии, коксохимия Производство хлора и каустической соды, неорганических и органических соединений ртути, электровакуумное производство, приборостроение Извлечение драгоценных металлов из руд, медицина (стоматология), лабораторная практика
Неорганические ртутьсодержащие соединения (вещества, технологические полупродукты и целевые продукты производства)	Химическая, химико-фармацевтическая, электротехническая; сырье, катализатор, компонент изделия, используемый продукт	Производство неорганических и органических соединений ртути, ацетальдегида, химических источников электрического тока, красок, защита гидротехнических сооружений и подводных частей судов от обрастания, медицина, фармация, фотодело, лабораторная практика
Органические ртутьсодержащие соединения (вещества, технологические полупродукты и целевые продукты производства)	Химическая, химико-фармацевтическая, сырье, используемый продукт	Защита растений от вредителей и болезней в сельскохозяйственном производстве (протравливание семян), защита гидротехнических сооружений и подводных частей судов от обрастания, медицина, фармация, лабораторная практика, борьба со слизевобразованием в производстве бумаги

- 1) металлургические предприятия (производства ртути и цветных металлов);
- 2) предприятия, использующие ртуть и ее соединения в технологических целях;
- 3) предприятия, в технологическом процессе которых сжигаются большие количества топлива.

Для стран-производителей ртути основным техногенным источником ее поступления в окружающую среду служат предприятия металлургии ртути. Как показали А. П. Большаков и др. [14], главная роль в формировании техногенных ареалов ртути принадлежит потерям руды при транспортировке и погрузочно-разгрузочных работах (сульфидная форма ртути) и потерям металла при осаждении ртути в системах очистки технологических газов (элементарная форма ртути), о чем свидетельствует вытянутость ареалов в направлении господствующих ветров.

Наиболее значительные потери ртути наблюдаются при пирометаллургическом способе получения ее из руды. По данным С. М. Мельникова [90], при обжиге 1 т руды в воздух может поступать примерно до 40 г ртути, главным образом в виде паров и частично аэрозоля, т. е. теряется в среднем 5—6 % от исходного содержания ртути в сырье. Годовой выброс ртути в атмосферу на крупном ртутном металлургическом комбинате может составлять около 11 т.

Об интенсивности загрязнения атмосферного воздуха парами ртути в районе одного из металлургических заводов свидетельствуют следующие данные, относящиеся к началу 70-х годов (табл. 14). Из приведенного материала следует, что на расстоянии 1,5 км от завода (при радиусе санитарно-защитной зоны в 1 км) содержание ртути

Таблица 14. Динамика содержания ртути в атмосферном воздухе в районе ртутного металлургического завода

Расстояние точек отбора проб от завода, м	Средние концентрации паров ртути (в мкг/м³) по результатам наблюдений в течение девяти лет									Число анализов в среднем за год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
200	20	562	140	20	—	—	—	—	—	6
500	8	140	14	40	Следы	Следы	0,1	1,8	4,1	13
1000	1	—	28	6	18,1	»	3,0	6,0	5,9	13
1500	0	—	28	6	1,8	0	1,0	0	3,0	16

в атмосферном воздухе превышало ПДК в десятки и более раз. По данным Г. Я. Чегринца, полученным в последующие годы, радиус загрязнения воздуха ртутью в районе того же завода был еще более значительным (табл. 15).

Таблица 15. Содержание ртути в атмосфере в районе ртутного комбината, мкг/м³

Содержание	Расстояние от комбината, м						
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	Контроль
Максимальное	4,0	2,5	1,8	1,2	0,8	0	0
Минимальное	0,6	0,5	0	0	0	0	0
Среднее	3,1	1,5	0,9	0,5	0,1	0	0

Аналогичные данные были получены в районе другого ртутного металлургического завода, где ртуть была обнаружена в круглосуточных пробах атмосферного воздуха на расстоянии 6 км от комбината.

В последнее время наметилась тенденция сокращения потерь ртути через дымовые трубы (в настоящее время такие потери не превышают 2—3 % общего объема производства). Исходя из объема мирового производства ртути, принимаемого равным 10 000 т, можно ожидать поступления в атмосферный воздух до 300 т ртути в год только с предприятий металлургии ртути.

В качестве иллюстрации закономерного снижения содержания ртути в атмосфере в результате планомерно проводимого комплекса инженерно-технических, организационных и санитарно-технических мероприятий приведем данные о динамике ртути в атмосферном воздухе в районе Никитовского ртутного комбината за 1982, 1986 и 1988 гг. (по данным органов санитарного надзора г. Горловки). Среднее содержание паров ртути на расстоянии 1 км от завода за этот период снизилось с 5,2 до 0,7 мкг/м³, на расстоянии 2 км — с 4,2 до 0,6 мкг/м³, на расстоянии 3 км — с 4,7 до 0,4 мкг/м³, т. е. примерно в 8—10 раз.

Ртуть поступает в окружающую среду и с предприятий цветной металлургии, не специализирующихся по производству ртути. Важным фактором загрязнения атмосферы и почвы ртутью являются приборостроительные предприятия. При изучении загрязнения внешней среды

парами ртути выбросов одного из приборостроительных заводов содержание ртути в атмосферном воздухе на значительном удалении от завода в несколько раз превышало предельно допустимое. Анализ смывов с наружных поверхностей стекол окружающих жилых помещений также указывал на значительную загрязненность ртутью. Так, в радиусе 1 км в смывах с наружных поверхностей стекол определялось от 0,00013 до 0,0065 мг/м² ртути, в то время как в контрольном районе содержание ртути в смывах не превышало 0,00001 мг/м².

А. Г. Петухов и А. М. Коновалов [106], проводя исследования атмосферного воздуха в районе расположения Клинского термометрового завода, показали, что на расстоянии 100 м максимальные разовые концентрации ртути составляют 0,0023 мг/м³, 250 м — 0,0011, 500 м — 0,00069, 1000 м — 0,000048, 2000 м — 0,00045 и 3000 м — 0,0003 мг/м³. Содержание же ртути в среднесуточных пробах, отобранных на расстоянии 250 м от места выброса, колебалось от 0,00025 до 0,001 мг/м³ и составило в среднем 0,0005 мг/м³, а на расстоянии 500 м — от 0,00005 до 0,00017 мг/м³ и в среднем 0,00012 мг/м³. Указанные содержания были обнаружены после того, как все вентиляционные выбросы подвергались очистке на фильтрах полочного типа, заполненных адсорбентом — природной марганцевой рудой Чиатурского месторождения.

Нельзя не учитывать такой крупный источник загрязнения окружающей среды, как ртуть, выделяющуюся в процессе сжигания всех видов топлива. По данным Института минеральных ресурсов АН УССР, среднее содержание ртути в углях Донбасса составляет 0,86 г/т, а в некоторых случаях оно значительно выше: от 1,0 до 10 г/т в 9,2 % всех проб углей и от 20 до 100 г/т — в 4,1 %. В работе [180] показано, что на ТЭЦ мощностью 1300 МВт выбрасывается в воздух 3,5 кг Hg/сут в виде пара и 0,3 кг/сут в виде аэрозоля; в среднем при сжигании угля 90 % содержащейся в угле ртути теряется с дымовыми газами и только 10 % остается в золе.

С. В. Алистратов [7] считает, что в загрязнении природной среды ртутью заметную роль играет угольная промышленность. Источником поступления ртути в воздух, почву и воду могут быть угольные отвалы. В частности, в отвалах Подмосковского угольного бассейна содержание ртути на порядок и больше превосходит кларк

литосферы. При этом поступление в атмосферу (атмогеохимический техногенный поток) формирует обширные по площади, но сравнительно низкоконтрастные аномалии ртути в почве, ограничивающиеся исключительно гумусовыми горизонтами. Поступление же ртути со сточными водами (литогидрохимические потоки) формирует локальные, но довольно высококонтрастные аномалии, проникающие в глубокие слои почвы.

Очистка и сжигание нефти и природного газа обуславливают поступление в атмосферу до 400 т ртути в год. Природные и светильные газы содержат ртуть в количестве 0,0005 мг/100 л. Подсчитано, что за счет сжигания угля в США в атмосферу поступает около 300 т ртути в год. Выплавка металлов из природных руд, производство цемента и фосфатов и другие процессы, идущие с подогревом, сопровождаются поступлением в атмосферу до 2500 т ртути в год. Не только сжиганию, но и коксованию углей характерно выделение ртути во внешнюю среду и поступление ее в продукты термической обработки — смолу и коксовый газ. Содержание ртути в образцах нефтяных остатков, собранных вдоль побережья Техаса, составляло 0,22—6,44 мг/кг.

Все перечисленные факторы обуславливают повышенное содержание ртути в атмосферном воздухе городов, вблизи тепловых электростанций, а также крупных промышленных районов [36].

Поскольку поступающие в атмосферу промышленные выбросы обуславливают не только значительное повышение содержания ртути в воздухе, но и возможное ее осаждение на почву, закономерен вопрос о степени абсорбции ртути почвой из атмосферного воздуха, содержащего повышенные количества ее паров. При исследованиях верхнего слоя почвы (0—10 см) вблизи промышленных объектов, выделяющих ее пары в окружающую среду, было зафиксировано загрязнение почвы ртутью (табл. 16).

И. Л. Куринным [77] на расстоянии 1000 м от ртутного комбината были обнаружены содержания ртути, которые в десятки раз превосходят содержание ее в почве контрольного района.

Высокие содержания ртути в почве определялись В. П. Мелехиной и в окружении одного из приборостроительных заводов. Сравнивая полученные ею данные с геохимическим фоном ртути в почве (контроль не приво-

Таблица 16. Характеристика загрязнения ртутью почвы вокруг ртутьпотребляющих производств

Расстояние от предприятия, м	Содержание ртути в почве, мг/кг почвы		
	по А. Н. Львову	по В. П. Мелехиной	по И. Л. Куринному
На территории предприятия	650—1000	—	580—850
100	—	9,2—17,6	—
250	—	9,7—13,1	—
500	—	3,0—25,6	12,0—41,0
1000	—	8,3—14,0	8,0—33,0
1500	—	—	0,6—16,6
2000	—	8,9—23	—
Контроль	—	—	0,04—0,08

дится), получим, что даже на удалении 2000 м от завода содержание ртути в почве значительно выше фона [88].

При оценке данных содержания ртути в почве вокруг ртутного комбината установлена тесная взаимосвязь между степенью загрязнения ртутью атмосферного воздуха и почвы. Показателем этого является постепенное снижение содержания ртути в почве по мере удаления от комбината, более интенсивное загрязнение почвы в направлении господствующих ветров, и, наконец, в обоих случаях повышение содержаний ртути, которые определялись в радиусе до 5 км от источника ртутных выбросов (табл. 17). Интенсивность загрязнения почвы ртутью в районе ртутного комбината характеризуется весьма значительными цифрами.

Таблица 17. Содержание ртути в атмосфере и почве в районе ртутного комбината (по Г. Я. Чегринцу)

Содержание ртути	Расстояние от комбината, м							
	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	Контроль
В атмосфере, мкг/м ³								
максимальное	—	4,0	2,5	1,8	1,2	0,8	0	0
минимальное	—	0,6	0,5	0	0	0	0	0
среднее	—	3,1	1,5	0,9	0,5	0,1	0	0
В слое почвы глубиной до 10 см, мг/кг								
максимальное	135,8	37,4	20,1	4,8	5,1	0,9	0,16	0,21
минимальное	3,9	0,5	0,6	0,1	0,1	0,2	0,05	0,12
среднее	37,4	10,1	5,6	1,8	1,1	0,5	0,1	0,15

При сравнении этих показателей с фоновыми значениями содержания ртути для данных почв (в среднем 0,15мг/кг) становится очевидным, насколько серьезным источником загрязнения почвы ртутью является ртутный комбинат.

Наряду с загрязнением воздуха и почвы крупные промышленные предприятия, производящие или применяющие ртуть, служат существенным фактором загрязнения открытых водоемов. К основным потребителям ртути, загрязняющим прежде всего водоемы, относится хлорное производство. Так, в Канаде основным потребителем ввозимой ртути являются предприятия по производству хлора и каустика, причем утечка в окружающую среду только в рамках данной отрасли составляет 90 т в год. Однако в последнее время хлорщелочное производство значительно сократило утечку ртути со сточными водами (на 99 %), что привело к тому, что удельный вес вентиляционных выбросов, как источника загрязнения окружающей среды, возрос. Применение систем охлаждения выбрасываемых газов позволило также дополнительно сократить потери ртути с вентиляционными выбросами приблизительно на 50 %.

4.2. Применение ртутьсодержащих органических соединений в сельском хозяйстве

При использовании ртутьорганических пестицидов в сельскохозяйственном производстве потенциальная опасность как развития профессиональных интоксикаций, так и загрязнения окружающей среды возможны на таких этапах работы, как транспортировка на склады, хранение и выдача пестицидов со складов, протравливание зерна и его последующее хранение, транспортировка протравленного зерна к месту сева и процесс самого сева [16, 19, 131, 138].

Исследования условий труда на складах для временного хранения пестицидов позволили установить, что в зоне дыхания лиц, работающих на этих складах, нередко обнаруживаются пары РОС. Наиболее высокие концентрации (0,015—0,7 мг/м³)* обнаружены при хранении и выдаче гранозана и меркурана.

* Здесь и ниже результаты анализов приведены по ртути.

Наличие паров этилмеркурхлорида в воздухе складских помещений в столь больших количествах обусловлено высокой летучестью этого соединения. Более низкие содержания ($0,006\text{--}0,3\text{ мг/м}^3$) были обнаружены в складских помещениях, где хранили меркургексан, содержание этилмеркурхлорида в котором в $2\text{--}2,5$ раза меньше (1%) по сравнению с гранозаном ($2,5\%$). Относительно низкие содержания ртутьорганического соединения метоксиэтилмеркурацетата (до $0,015\text{ мг/м}^3$) были обнаружены в воздухе складов при хранении радосана. Самые низкие содержания ртутьорганических соединений в воздухе были выявлены в зоне дыхания кладовщиков на складах фенилмеркурацетата и агронала — препаратов, обладающих низкой летучестью. Содержание их в воздухе складских помещений не превышало ПДК, установленной для наиболее токсичного органического соединения ртути — этилмеркурхлорида ($0,005\text{ мг/м}^3$), и находилось на уровне $0,001\text{--}0,0045\text{ мг/м}^3$.

Значительные количества ртутьорганических соединений обнаруживаются и на поверхности тары, в которой транспортируются и хранятся пестициды (от $0,6$ до $0,9\text{ мг/см}^2$), в строительных конструкциях складских помещений, спецодежде, индивидуально-защитных приспособлениях, находящихся в тех же помещениях, где и пестициды (от $0,5$ до $0,82\text{ мг/кг}$).

Пары ртутьорганических соединений поступают в воздух складских помещений также через неплотности упаковки, в которой они транспортируются и хранятся. Во время транспортировки пестицидов на склады как по железной дороге, так и автотранспортом тара может деформироваться, разрушаться, а пестициды просыпаются, вследствие этого загрязняются поверхность тары и транспортные средства.

Установлена зависимость интенсивности выделения в воздух складских помещений паров этилмеркурхлорида при использовании гранозана, меркурана, меркургексана, а также, хотя и в меньшей степени, метоксил-этилмеркурацетата (при использовании радосана) от температуры окружающей среды.

Наиболее трудоемким этапом работы с РОС, требующим привлечения специально обученных правилам обращения с ядохимикатами лиц, является протравливание семян. В зависимости от типа используемых для протравливания машин, летучести применяемого пестици-

да, соблюдения требований техники безопасности и промышленной санитарии и так далее содержание ртутьорганических соединений (сумма паров и аэрозолей) в зоне дыхания работающих на различных местах колебалась в пределах от $0,05$ до $0,66\text{ мг/м}^3$. При использовании этилртутных соединений соотношение паровоздушной формы к пылеобразной составляло $1:3,5$, а при протравливании семян фенилртутными соединениями содержание паров в воздухе составляло не более $1:100$ от общего количества препарата, определяемого в воздухе.

Протравливание семян РОС с увлажнением позволило уменьшить поступление в зону дыхания работающих вредных веществ (преимущественно в пылеобразной форме) в $2\text{--}9$ раз.

Загрязнение воздуха парами РОС отмечается при хранении протравленного гранозаном и меркургексаном зерна и проведении работ с зерном. Так, во время загрузки сеялки зерном содержание ртутьорганических соединений в зоне дыхания сеяльщиков составляло $0,21\text{--}0,36\text{ мг/м}^3$, при севе протравленных семян их содержание в воздухе было значительно меньшим — $0,012\text{--}0,09\text{ мг/м}^3$. Степень загрязнения РОС воздуха рабочей зоны сеяльщиков зависит от типа применяемых сеялок, розы ветров, количества и взаимного расположения сеялок, обслуживаемых одним трактором. Следовательно, ртутьорганические пестициды являются самостоятельным и важным источником загрязнения объектов внешней среды ртутью.

Применение ртутьорганических пестицидов при протравливании зерна приводит к загрязнению почвы РОС в радиусе до 100 м от протравочных площадок (табл. 18).

Таким образом, применение в сельском хозяйстве в качестве фунгицидов РОС обуславливает необходимость предупреждения загрязнения окружающей среды ртутью — применения совершенных в гигиеническом отношении протравочных машин, оборудования специальных площадок с искусственным покрытием для протравливания зерна, размещения их за пределами селитебной территории и др.

Одним из весьма существенных аспектов проблемы применения РОС и обусловленного им загрязнения ртутью почвы является возможность миграции ртути из

Таблица 18. Содержание ртути в почве на различном удалении от протравочных площадок

Расстояние от площадок, м	Пределы колебания содержания ртути в пробах почвы, отобранных в разные сроки после протравливания зерна, мг/кг	
	1 месяц	3—5 месяцев
25	1,08 — 2,7	0,1 — 2,4
50	0,03 — 2,5	0,19 — 1,20
100	0,11 — 0,32	0,09 — 0,62
150	0,05 — 0,2	0,12 — 0,14
200	0,1 — 0,21	0,06 — 0,25
300	0,07 — 0,25	0,1 — 0,8
Контроль	0,03 — 0,31	0,09 — 0,20

почвы в растения через корневую систему и включения ее в продукты питания и корма. До недавнего времени этому аспекту серьезного значения не придавалось. Работы, выполненные в последние годы, показали, что загрязнение почвы неорганическими и органическими соединениями ртути обуславливает повышенное содержание ртути в произрастающих на ней растениях. Так, Г. Я. Чергинец определил, что массовая доля ртути в картофеле и моркови, выращенных в районе ртутного комбината, более чем в 3—20 раз превосходит массовую долю ртути в картофеле и моркови, выращенных на почве контрольного района.

При изучении процесса накопления ртути, внесенной в почву в виде фенилмеркурацетата, меркурацетата, сульфата и хлорида ртути, было показано, что уровень накопления практически не зависел от вида соединений и что основной ствол содержал ртути на 1—2 порядка меньше, чем мелкие корешки, что, по мнению авторов, позволяет говорить о существовании биологического барьера для ртути. Однако более обоснованным представляется предположение, что поступление ртути происходит через всю площадь корневой системы растений, содержание ее определяется на единицу массы, а отношение площади к массе корня у основного корневого ствола меньше, чем у мелких корешков. В то же время содержание тяжелых металлов (в том числе ртути) более чем на порядок снижается в ряду корень > стебель > зерно [97].

В пользу определяющей роли органических соединений ртути, используемых в качестве пестицидов, в фор-

мировании повышенного «ртутного фона», в частности в Швеции, говорят факты снижения содержания ртути в тканях различных животных после того, как в 1966 г. было запрещено использование в сельском хозяйстве метилртутных производных [190, 211].

В то же время, по мнению авторов [140], ртутьорганические пестициды при правильном их использовании не накапливаются в почве в таких количествах, чтобы возникла опасность отравления при поступлении в организм человека по цепочке: протравленное зерно — зерно нового урожая — хлеб — человек. Так, в частности при анализе содержания ртути в почках лошадей из типичных сельскохозяйственных районов и районов с развитой промышленностью и оценивая наличие и содержание ртути как показатель загрязнения среды металлом, был сделан вывод, что применение ртутьорганических пестицидов не оказывает большого влияния на накопление ртути в окружающей среде, в отличие от промышленного загрязнения. В. Венгорек и соавторы [25], хотя и считают, что источники загрязнения окружающей среды ртутью находятся вне области сельского хозяйства, тем не менее рекомендуют изъять из употребления ртутные протравители при наличии достойной замены. В то же время показано, что содержание ртути в печени и почках котов из сельскохозяйственных районов Польши (соответственно в среднем 1,005 и 1,476 мг/кг) в 5—8 раз выше, чем из промышленных. Следовательно, сравнительная оценка ртутьорганических соединений сельскохозяйственного производства как источников загрязнения окружающей среды носит во многом противоречивый характер и определяется конкретными условиями.

Вместе с тем следует помнить, что в определенных местах (вблизи складов пестицидов, мест протравливания и хранения протравленного зерна) существует опасность повышенной транслокации ртути из загрязненной почвы в растения и этот факт нельзя не учитывать при проведении мероприятий по охране окружающей среды от загрязнения ртутью.

4.3. Современный город и проблема «ртутной опасности»

В современном городе с его высокой плотностью и интенсивной миграцией населения, концентрацией промышленности как внутри городской черты, так и за ее

пределами — в ближайших пригородах и городах-спутниках, с широкой сетью транспортных магистралей и большим количеством транспортных средств зачастую создаются условия для более рельефного и раннего проявления неблагоприятных в гигиеническом и экологическом отношениях тенденций загрязнения окружающей среды [47].

Общеизвестны факты интенсивного загрязнения в условиях города атмосферного воздуха, почвы и открытых водоемов. Так, если в природных ландшафтах в 100—150 км от города выпадение пыли, например, составляет от 5 до 15 кг на 1 км²/сут, то в городах это число возрастает до 500—1500 кг. При этом повышение выпадения пыли сопровождается резким изменением ее химического состава за счет широкого спектра разнообразных химических промышленных веществ и выбросов вредных веществ с отработанными газами автомобилей. Как известно, вместе с последними в воздух поступают свинец, бром, хлор.

По сравнению с наиболее изученными загрязняющими атмосферу городов химическими веществами, такими как оксиды углерода, углеводороды и другие органические соединения, оксиды серы и азота, которые со временем могут разлагаться или нейтрализоваться до простых и нетоксичных веществ, более сложно обстоит дело с загрязнением атмосферы металлами. Наблюдения показывают, что предприятия цветной металлургии оказываются источниками поступления в окружающую среду населенных мест свинца, цинка, меди, кадмия, серебра, молибдена. Предприятия черной металлургии расширяют спектр металлов — загрязнителей атмосферы — за счет марганца, ванадия, никеля. Приборостроительные заводы добавляют к этому перечню химических агентов хром и ванадий, заводы по производству красителей — сурьму и медь, электростанции и многочисленные установки для сжигания топлива — большое количество химических веществ, среди которых также значительное место занимают металлы — ванадий, цинк, молибден.

Особо подчеркнем: и предприятия цветной металлургии, и приборостроительные заводы, и электростанции, и установки для сжигания топлива загрязняют атмосферу населенных мест парами металлической ртути. К конкретным источникам загрязнения атмосферы городов

ртутью следует отнести установки для сжигания осадка городских сточных вод, выбросы ртути из которых составляют 2,00—2,67 г/т осадка. По данным работы [163], в смывах с фруктов и в пробах почв в промышленных городах содержатся повышенные количества мышьяка, хрома, свинца, марганца и ртути; расчетное поступление в организм городских жителей марганца и цинка достигло уровня, допустимого ВОЗ, а ртути и мышьяка составляет 30—40 % от допустимого уровня.

Вывос металлов с дождевой водой с городской территории превышает аналогичный показатель для сельской местности, что обуславливает более высокое содержание микроэлементов в водах рек, водосборные районы которых на 50 % является городским и на 50 % сельским в сравнении с теми реками, водосборные районы которых находятся в сельской местности [181].

Специфические условия крупного города сказываются далеко за пределами городской черты. Так, в работе [76] показано, что техногенные выбросы в атмосферу крупного промышленного города машиностроительного профиля обуславливают повышение уровня общего содержания микроэлементов в перегибном горизонте почвы в радиусе 5—15 км (в зависимости от направления господствующих ветров), а их подвижных форм — до 25 км. В. П. Цемко и др. [136] показали, что в радиусе 60—80 км и более от крупных городов заметно активизированы процессы эрозии почв. Тот факт, что конфигурация подвергнутых эрозии участков почв заметно вытянута в направлении преобладающих со стороны города ветров, свидетельствует о доминирующей роли вентиляционных выбросов в их формировании. Авторами предложена градация степени загрязнения почв тяжелыми металлами по кратности превышения кларка: до 2 раз — незагрязненная почва, от 2 до 10 раз — слабозагрязненная почва, 11—30 раз — среднее загрязнение почвы, 31—60 раз — сильное загрязнение и более 60 раз — очень сильное (опасное) загрязнение почвы. Начиная со средней степени загрязнения, в растениях нарушаются физиологические процессы, снижается прирост биомассы, в дальнейшем наблюдаются морфологические признаки действия тяжелых металлов, гибнут чувствительные виды.

Особенности процессов рассеяния химических веществ вблизи источников загрязнения определяют образование

так называемых зон с повышенными массовыми долями загрязняющих почву химических веществ — *техногенных ареалов рассеяния*. Хотя, как правило, размеры указанных ареалов сравнительно невелики — 0,5—2 км², однако по мере увеличения мощности и в зависимости от местоположения источника загрязнения эти ареалы могут значительно возрастать, достигая 5—10 км² и более [111].

Таким образом, в городах сейчас формируется необычная биогеохимическая провинция с высокими концентрациями своеобразной ассоциации химических элементов. Следует также отметить, что указанное выше загрязнение химическими элементами не вызывает видимых осложнений типа острых заболеваний, а опасно преимущественно своими отдаленными последствиями.

Уровень загрязнения ртутью, наличие и размеры упомянутых техногенных ареалов рассеяния будут зависеть прежде всего от наличия в городе «ртутных объектов», масштабов применения ртути, ее соединений и приборов с ртутным заполнением на промышленных предприятиях и в различного профиля лабораториях. Также необходимо отметить, что потенциальная угроза ртутного воздействия в современных условиях отнюдь не ограничивается специфическими ртутными производствами, а возможна и на многих «неспецифических» объектах самого различного профиля.

Широкий размах лабораторных и экспериментальных работ в исследовательских институтах и вузах, наличие разветвленной сети городского электротранспорта с выпрямительными подстанциями, многочисленных предприятий с цехами или отделениями КИП, служб наладки приборов и установок с ртутным заполнением, бюро проверки контрольно-измерительной аппаратуры, мастерских по ремонту ртутных приборов, палат мер и весов, стеклодувных мастерских, строительство новых и эксплуатация старых действующих городских электростанций с функционирующими при них «ртутными комнатами», расширение сети вычислительных центров, увеличение и расширение оснащения «ртутными» приборами учреждений медико-биологического и лечебного профиля — все это приводит к тому, что сегодня в условиях современного города ртуть как токсичное вещество носит характер не «локальной», а универсальной вредности.

Таблица 19. Содержание паров ртути в атмосфере различных районов города и вне его

Период года	Район города	Номер точки отбора — количество проб	Содержание, мг/м³		
			Минимальное	Максимальное	Среднее
Осенне-зимний	Новый жилой массив	№ 1 — 10	0,0002	0,00035	0,00025
		№ 2 — 4	Не обнаружено		
	»	Старый жилой массив (центр города)	№ 1 — 10	0,0002	0,00035
№ 2 — 2			Не обнаружено		
№ 3 — 14			Не обнаружено	0,0003	
»	Лесной массив на расстоянии 32 км от города	№ 1 — 11	Не обнаружено		
	Весенний	Старый жилой массив (центр города)	№ 1 — 8	0,00035	0,0005
№ 2 — 8			Не обнаружено		0,0003
№ 3 — 12			0,0002	0,0004	
№ 4 — 4			Не обнаружено	0,00025	
»	Старый промышленный район	№ 1 — 16	0,0005	0,0006	0,00055
		№ 2 — 8	0,0018	0,0083	0,0057
	»	Новый промышленный район	№ 1 — 10	0,0005	0,0009
№ 2 — 4			Не обнаружено		
»	Лесной массив на расстоянии 32 км от города	№ 1 — 5	Не обнаружено		

Рассмотрим характеристику размещения непромышленных объектов в одном из крупных районов современного города, где нет ни предприятий по производству ртути, ни предприятий по получению ее органических или неорганических соединений.

Среди приборостроительных заводов этого города отсутствуют такие, где бы в массовом порядке изготавливалась «ртутная аппаратура». В городе практически нет более или менее значительных промышленных предприятий, потребляющих сравнительно большие количества ртути. В то же время, как и в большинстве других городов, имеется много предприятий и учреждений, где ртуть применяется либо в небольшом количестве как жидкий металл в процессе различных производственных и лабораторных операций, либо в качестве заполнителя измерительных приборов, регулирующих устройств, регистрирующей контрольной аппаратуры, либо в форме ртутных солей в качестве катализаторов, антисептиков, дезинфицирующих веществ и т. д. Тем не менее в объектах окружающей среды города, о котором идет речь, были обнаружены повышенные содержания ртути (табл. 19 и 20).

Таблица 20. Массовая доля ртути в почве различных районов города и вне его

Район города	Номер точки отбора — количество проб ¹	Массовая доля, мг/100 г воздушно-сухой пробы		
		Минимальная	Максимальная	Средняя
Новый жилой массив	№ 1 — 8	Не обнаружено	0,004	0,0046
	№ 2 — 10	Не обнаружено		
Старый жилой массив (центр города)	№ 1 — 12	Не обнаружено	0,0001	
	№ 2 — 6	Не обнаружено		
Новый промышленный район	№ 1 — 16	0,0036	0,006	0,008
	№ 2 — 2	Не обнаружено		
Старый промышленный район	№ 1 — 12	Не обнаружено	0,003	
	№ 2 — 5	0,006	0,001	
Лесной массив на расстоянии 32 км от города	№ 1 — 14	Не обнаружено		

¹ Пробы отбирались в летний период года

Из представленных в таблицах данных прежде всего следует, что ни в одной из проб атмосферного воздуха пригородного лесного массива ртути обнаружена не была. В то же время наличие ртутных паров выявлено в большинстве проб, отобранных в различных районах города. Так, в воздухе нового жилого массива из 14 отобранных проб только 4 дали отрицательный результат, а в остальных содержание ртути колебалось в пределах 0,0002—0,00035 мг/м³. Более высокие содержания были обнаружены в центральном районе (0,00025—0,0005 мг/м³).

В процессе анализа были сопоставлены полученные данные с данными о содержании в воздухе того же города сернистого ангидрида, углеродсодержащих веществ и сажи. Оказалось, что содержание сернистого ангидрида в теплый и холодный периоды года в центральном районе составляет соответственно 0,20 и 0,048 мг/м³. Среднее содержание углеродсодержащих веществ колеблется в пределах 155,3—656,6 мг/м³ за сутки, содержание сажи — от 25,4 до 36,3 %. Показательно, что в промышленных районах города содержания указанных выше веществ были более высокими. Так, содержание сернистого ангидрида летом (по средним данным) в этих районах было почти в 12 раз больше, чем в центральном. Содержание ртути в воздухе промышленных районов хотя и не столь значительно, однако более чем в 1,5—2 раза выше, чем в центре города (0,00053—0,0010 мг/м³).

Перечислим факторы, обусловившие наличие в атмосфере промышленных районов города повышенных содержаний ртути, несмотря на отсутствие предприятий, где бы она производилась или потреблялась в большом количестве. Во-первых, это наличие в промышленных районах большего количества источников загрязнения атмосферы парами ртути, чем центральных; во-вторых, отсутствие на источниках загрязнения очистки выбросов ртути в атмосферу; в-третьих, возможное поступление некоторого количества ртути в воздух с дымовыми газами. Последнее в известной мере подтверждается данными об определенном параллелизме в динамике содержания в воздухе ртути, с одной стороны, и сернистого ангидрида, углеродсодержащих веществ и сажи, с другой стороны.

При изучении топографии и характера имеющихся в городе «ртутных объектов» прежде всего обращает на себя внимание то, как густо подчас располагаются за-

грязняющие объекты не только в промышленных, но и в центральных районах города, сколь многочисленны и разнообразны сегодня источники загрязнения атмосферы парами ртути.

Наблюдения подсказывают, что топография размещения ртутных объектов для других городов характеризовалась бы таким же разнообразием и плотностью. К сожалению, подобные материалы практически отсутствуют. Лишь в одной работе, посвященной вопросам борьбы с «ртутной опасностью» на предприятиях Алматы, опубликованной еще в пятидесятых годах, есть указание на наличие в этом городе свыше двадцати объектов, где проводятся работы с металлической ртутью [132]. Надо ли говорить о том, что в настоящее время их стало значительно больше. Об этом можно судить по перечню «ртутных объектов», приведенному в указанной работе. В нем отсутствовали такие повсеместно встречающиеся объекты, как цехи КИП промышленных предприятий, производственные помещения теплоэлектростанций, службы наладки контрольно-измерительных приборов, стоматологические кабинеты и др. Материалы и основные положения, аргументируемые в этой работе, находятся в соответствии с результатами предшествующих наблюдений, проведенных в свое время сотрудниками Московского института гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана и Института общей и коммунальной гигиены АМН СССР [81]. Полученные нами цифры ниже тех, которые приведены авторами указанных выше работ. Особенно высокие содержания ртутных паров были обнаружены в центре города, где в разных местах они достигали $0,001—0,004 \text{ мг/м}^3$. Данные, полученные в процессе этих исследований, позволили прийти к заключению, что содержание ртути в воздухе больших городов может колебаться в пределах от $0,0003$ до $0,002—0,003 \text{ мг/м}^3$. В наших наблюдениях столь высокие содержания ртути были выявлены лишь в одном из промышленных районов с плотным размещением промышленных предприятий, в частности большинства имеющихся в городе приборостроительных заводов. Вероятно поступление ртути в атмосферный воздух этого района обусловлено главным образом выхлопами вакуумных и форвакуумных насосов от различных приборов, аппаратов, установок, содержащих ртуть. Специально проведенные исследования показали, что суммарный выброс ртути с выхлопами форвакуумных

насосов от лабораторной вакуумной установки (отдельные ее детали: манометры Мак Леода, U-образные затворы, резервуары со ртутью и др.) составляет до $0,02—0,06 \text{ мг/мин}$ ($1,55—3,6 \text{ мг/ч}$).

Общее содержание ртути в атмосфере Чикаго составляет 26 нг/м^3 , из которых 22 нг/м^3 — в виде элементарной ртути (пары) и 4 нг/м^3 — в виде ртути, сконденсировавшейся на частицах атмосферных аэрозолей.

Из сопоставления данных о загрязнении ртутью воздуха и почвы различных районов города (см. табл. 20) следует, что между степенью загрязнения ртутью окружающей атмосферы и содержанием ее в почве существует определенный параллелизм. Наиболее высокие количества ртути обнаружены в промышленных районах, значительно меньшие — в центре города и в районе нового жилого массива. В почве, отобранной за городом, почти во всех случаях ртуть не была обнаружена и лишь в четырех пробах выявлена в виде следов. Тем самым еще до установления корреляционных отношений между распределением загрязняющих веществ в системе вентиляционные выбросы — атмосферный воздух — атмосферные выпадения на земную поверхность нами были получены данные, позволяющие предположить, что нагрузка на окружающую среду, формируемая в результате выпадения и вымывания примесей из атмосферы, функционально связана с некоторым средним уровнем содержания примесей в воздухе.

Загрязнение ртутью атмосферного воздуха разных районов города хотя и в значительно меньшей степени, однако все же связано и с выхлопами от вытяжных шкафов, в которых производится работы с «открытой» ртутью, особенно при ее подогреве. Показательно, что наиболее высокие содержания ртути в воздухе старого промышленного района были обнаружены в тех пробах, которые отбирались на участках, расположенных в относительной близости, с одной стороны, к одному из промышленных зданий, загрязненных ртутью, с другой, — к учебным корпусам политехнического и медицинского институтов, в лабораториях которых как в вытяжных шкафах, так и вне их, проводятся работы с металлической ртутью, а также с приборами, аппаратами и установками, в которых присутствует ртуть.

Приведенные выше материалы показывают, что ртутные пары обнаруживаются даже на весьма значительном

расстоянии от источника выброса ее в атмосферу. Степень загрязнения воздуха городов парами ртути определяется не только содержанием ее в воздухе производственных помещений, объемом ртутных процессов и операций, но и рядом других обстоятельств, в частности временем года, интенсивностью последующей десорбции ртути объектами внешней среды. Так, поступление ртути в атмосферный воздух, как правило, увеличивается в летние месяцы, когда в связи с повышением температуры усиливаются испарение ртути, десорбция паров из источников вторичного загрязнения, а также затрудняются процессы их конденсации, в частности из печных газов [36].

Поступающие в атмосферу пары ртути обуславливают не только значительное повышение ее содержания в воздухе, но и загрязняют объекты внешней среды, сорбируясь почвой, листьями деревьев, в случаях значительного поступления — строительными конструкциями зданий.

Способность почвы сорбировать (интенсивно) ртуть позволяет предположить, что при определенных условиях она может быть источником вторичного загрязнения ртутью атмосферного воздуха, водоемов и подземных вод.

Воздухообмен между производственными помещениями и наружной атмосферой, загрязнение ртутью различных объектов внешней среды, десорбция в атмосферу ее паров из источников вторичного загрязнения являются теми факторами, которые в значительной степени способствуют загрязнению воздуха современного города ртутью.

Подобно тому, как в естественных условиях существует состояние относительного равновесия между содержанием ртути в атмосфере с одной стороны, и в гидро- и литосфере — с другой, так и в условиях окружающей нас среды городов создается динамическое равновесие между ртутью, поступающей в атмосферный воздух с выбросами различных предприятий, лабораторий, мастерских и так далее, и ртутью, вымываемой из атмосферы осадками, сорбируемой почвой, строениями, листьями зеленых насаждений и т. д. Десорбция ртути из этих источников замыкает круговорот металла [70]. Говоря о современных городах, следует особо подчеркнуть, что, как правило, речь идет о сравнительно небольшом содержании ртути в воздухе — до $0,0002—0,00065$ мг/м³.

В настоящее время при анализе состояния атмосферного воздуха предпочтение отдается методу геохимического картирования. Наиболее устойчивым показателем геохимической обстановки является почва. Геохимическое картирование снежного покрова позволяет установить и оценить состояние атмосферного воздуха за период с момента формирования устойчивого снежного покрова до момента отбора проб. В работе [111] показано, что загрязненная площадь на 70—100 % больше площади промышленных зон и захватывает жилую территорию, нагрузки выпадающих на жилую зону загрязнителей часто не ниже, чем в промышленных зонах, а дифференциация территории городов, по данным геохимического картирования, более контрастна, чем по результатам исследования атмосферного воздуха. Показательно, что для таких токсичных металлов, как кадмий, ртуть и свинец, геохимическое картирование снежного покрова позволило выявить сравнительно локальные (10—30 га) аномалии, пространственно увязанные с неизвестными ранее источниками выбросов.

Представленные данные свидетельствуют о необходимости гигиенических мероприятий, направленных на профилактику меркуриализма не только в условиях разнообразных производств, но и на многочисленных объектах «непромышленного» характера. Актуальность и значение этих мероприятий должны рассматриваться с позиций органичной взаимосвязи оздоровления среды рабочих помещений с повышенным содержанием ртути и предотвращения загрязнения ртутью среды современного города. Необходимость такого комплексного подхода подтверждается многофакторным статистическим анализом данных о содержании ртути в органах и тканях человека по данным аутопсии, показавшим, что городское население подвергается большей нагрузке ртутью, чем сельское [143].

Основными источниками загрязнения воздуха лабораторных помещений являются запасы металлической ртути и приборы с ртутным заполнением, особенно с открытой поверхностью ртути. Хрупкость приборов, большинство которых имеет стеклянные части, и нерациональная и неправильная их эксплуатация (расположение вне вытяжных шкафов, вблизи источника тепла, движущихся частей установок, проходов и т. п.) усугубляют положение.

Наряду с металлической ртутью в лабораторных помещениях широко применяют ее неорганические соединения. Так, сулема входит в состав смеси, которой обрабатывают электрофореграммы (для фиксации белков), применяется для амперометрического титрования сульфгидрильных групп и т. д. Известно, что при работе целого ряда приборов (полярографы, манометры, насосы Лэнгмюра и т. д.) в процессах амальгамирования и других исключительно высокие требования предъявляются к химической чистоте металлической ртути. Процессы очистки ее от примесей составляют неотъемлемую часть работы любой ртутной лаборатории. Существует много способов очистки ртути от примесей. В типичных случаях очистка проводится по следующей схеме:

1) удаление механических примесей, в частности путем пропускания ртути через бумажный фильтр, шелк, кожу, замшу и т. д.;

2) освобождение ртути от органических примесей и примесей посторонних металлов путем промывки 10—20 %-м раствором едкого натра или кали, окислением их кислородом воздуха, растворением и последующим извлечением ртути электрохимическим путем;

3) сушка ртути.

Для получения ртути высокой степени чистоты после очистки ее одним из способов, предусмотренных в пункте 2, необходимо перегнать ртуть (под пониженным давлением или вакуумной перегонкой в дегазаторах или ректификаторах). Детальное описание приемов и аппаратуры, предназначенной для очистки ртути, приведены П. П. Пугачевичем [109].

По нашим наблюдениям, фильтрация ртути с целью удаления механических примесей проводится в большинстве лабораторий без соблюдения мер предосторожности, вне вытяжных шкафов; не учитывается опасность розлива ртути, испарения ее с поверхности в воронке и т. д. Аналогичны причины загрязнения помещения в процессе промывания ртути 10—20 %-м раствором едкого кали или едкого натра, а также дистиллированной водой.

Очистка ртути от растворенных в ней примесей окислением проводится в лабораториях с помощью кислорода, озона или воздуха. Окисление озоном производится в приборе Розанова. Принцип метода состоит в пропускании газа через порцию ртути, окислении содержащихся в ней металлических примесей с последующей фильтра-

цией ртути через воронку. При окислении возможно поступление паров ртути в воздух и разбрызгивание ее. Применение способа растворения примесей позволяет этого избежать; это же относится к очистке ртути пропусканием через раствор слабой азотной кислоты или через раствор нитрата ртути (1). Эти растворы обычно заливают в колонки различных конструкций (колонка Майера, автоматические колонки Деша, Диксона, Маккея, Ефремова и Попова, Дворжака). Следует отметить, что слив очищенной ртути производят, как правило, через стеклянные краны, которые нередко выходят из строя и разрушаются, что обуславливает розлив ртути и загрязнение ею покрытий пола и поверхностей рабочих столов.

После промывания дистиллированной водой очищенную ртуть высушивают для удаления остатков воды. Во многих лабораториях процесс сушки ртути проводится нагреванием ее в фарфоровых чашках на открытом огне, т. е. при интенсивном выделении паров ртути. Очистка завершается постановкой лабораторных контрольных анализов на чистоту ртути. В случае получения очень чистой ртути необходима перегонка очищенной ртути. Если перегонка производится в приборах Хьюлетта, Пугачева или Розанова, то в гигиеническом отношении опасности нет.

Последующее хранение металлической ртути в лабораториях, как правило, также осуществляется без соблюдения соответствующих гигиенических правил. На промышленных предприятиях ртуть хранится в стальных баллонах с завинчивающимися стальными пробками вместимостью от 30 до 40 кг каждый, в лабораториях, где объемы ее значительно меньше, ртуть хранят обычно в стеклянной таре, под слоем воды (реже под слоем глицерина) либо закрытой резиновыми или корковыми пробками.

Все эти «способы» предотвращения возможного загрязнения воздуха ртутью не выдерживают критики. Более того, даже в лабораториях, где ртуть хранилась в стеклянной таре, закрытой притертой пробкой (при отсутствии каких-либо других источников выделения ртути в воздух), постоянно обнаруживались ее пары (0,003—0,0085 мг/м³). Очевидно, притертые пробки, закрывающие стеклянную посуду, в которой хранится ртуть, не смазываются вакуумной смазкой, так как последняя загрязняет ртуть. Между тем, известно, что для

обеспечения достаточной эффективности применяемых притертых пробок или шлифов вакуумная смазка необходима.

Только в некоторых лабораториях нами отмечено хранение ртути под вытяжным шкафом. Как правило, стеклянная тара со ртутью находилась в лабораторных шкафах и столах вместе с другими химическими веществами и реактивами. Отмечены были случаи хранения ряда вышедших из строя, негодных или предназначенных для ремонта приборов с ртутным заполнением или отдельных деталей (частей) таких приборов.

При лабораторно-инструментальных работах широко используется ртутная аппаратура, например вакуумные приборы, в частности ртутные затворы с открытой поверхностью ртути и вакуумные шкафы с наружной подачей (заливкой) ртути, применение которых основано на высокой плотности ртути. Назначение затворов — сохранять достигнутые степени вакуума, основной гигиенический недостаток их — испарение ртути с поверхности затворов, а также возможность разбрызгивания ртути при нерациональной эксплуатации их и неумелой подготовке к работе.

Аналогичным недостатком обладают и вакуумные краны, которые к тому же часто выходят из строя, что также способствует загрязнению воздуха парами ртути.

Среди широко распространенных ртутных вакуумных насосов простейшим является диффузионный насос Лэнгмюра, принцип действия которого основан на диффузии молекул газов воздуха из реципиента в струю ртутных паров. Необходимым условием работы диффузионного насоса является предварительное разрежение в форвакуумном баллоне, создающееся при работе форвакуумного насоса. В процессе работы этого насоса пары ртути обязательно присутствуют в выхлопных газах. Этот единственный недостаток насоса является существенным фактором загрязнения воздуха рабочих помещений.

Существуют масляные, ионные и молекулярные вакуумные насосы, однако в лабораториях используются именно ртутными вакуумными диффузионными. Это объясняется, с одной стороны, высокой разрежающей способностью ртутных насосов, с другой — простотой их конструкции.

Источником поступления ртути в воздух является большая группа приборов — измерителей давления (ма-

нометров, вакуумметров, расходомеров, тягометров и т. д.). Принцип действия этих приборов — изменение высоты ртутного столба в сообщающихся сосудах при повышении или понижении давления измеряемой среды (воздух, вода, пар, газ и др.). При резких колебаниях давления возможны выбросы ртути из прибора. Кроме того, ртутные измерители давления «отдают» ртуть в окружающую среду с открытого зеркала вакуумметров и открытых поверхностей U-образных и чашечных манометров. При заполнении указанных выше приборов имеют место случаи разлива ртути.

В электротехнических лабораториях наиболее распространенными приборами с ртутным заполнением являются чашечные ртутные контакты, ртутные выпрямители, ртутно-толуоловые прерыватели и полярографы. В гигиеническом отношении эти приборы также не совершенны и при определенных условиях становятся источником интенсивного поступления ртути в воздух.

В лабораториях медико-биологического профиля источником загрязнения ртутью, как правило, оказываются легко бьющиеся медицинские термометры, ртутные осциллографы для измерения артериального давления, термометры в бактериологических термостатах, газоанализаторы Холдена и Ван Слайка, аппараты Орса и Стефаниса. Загрязнение воздуха ртутью возможно при проведении электронной микроскопии, и при работе с разнообразными соединениями ртути (I), которые при обычных температурных условиях способны выделять пары ртути в воздух.

Особое место занимают стоматологические и зубоучебные кабинеты, где ртуть используется как составная часть пломбировочной массы.

Таким образом, в качестве источников ртутных загрязнений в условиях лабораторий следует признать как оборудование, связанное с наличием открытой ртути, так и аппаратуру, в которой ртуть находится в замкнутой емкости и свободно с атмосферой не соприкасается, поскольку приборы этой группы также могут подвергаться механическому разрушению с освобождением больших количеств ртути.

Исследования многих советских и зарубежных авторов показали, что в лабораториях нередко создаются значительные содержания ртутных паров. Так, пары ртути обнаружены в подавляющем большинстве физи-

ческих и химических лабораторий промышленных предприятий, научно-исследовательских и учебных институтов, учреждений медико-биологического профиля. Содержание их колеблется на уровнях, в 2—4 раза превышающих ПДК, и зависит от продолжительности использования ртути, общего количества ее в лаборатории, характера операций, предшествующих анализу, места отбора пробы, окружающей температуры и т. д.

Сопоставление результатов анализов на содержание паров ртути в лабораториях и в условиях современных промышленных предприятий показало, что многие лаборатории более загрязнены ртутью, чем промышленные предприятия. Это объясняется тем, что медицинские работники направили прежде всего все свои усилия на профилактику микромеркуриализма среди промышленных рабочих и на какое-то время потеряли из поля зрения многочисленные контингенты рабочих, лаборантов, студентов, персонала медико-биологических учреждений. В то время, как на промышленных предприятиях проводились строительные-технические, организационно-методические и гигиенические мероприятия, направленные на предупреждение «ртутной опасности», лаборатории оказались в стороне.

В условиях лабораторий возможны комбинации ртути с другими токсичными веществами — органическими растворителями, озоном, формальдегидом, что обуславливает усиление токсического эффекта, вызванного действием ртути.

Источником значительного поступления паров ртути в атмосферу города является автотранспорт. Во ржи и пшенице, произрастающих вблизи шоссе-ных дорог, содержание ряда тяжелых металлов (Cd, Pb, Hg и Zn) было выше, чем в районах, лежащих далеко от автомобильных дорог. Ртуть также обнаружена в пыле отвалов большого количества городов США. С осветленными сточными водами ртуть вместе с другими токсичными компонентами поступает в водоемы.

Большое влияние на повышение фонового содержания ртути в современных городах в течение длительного времени оказывало применение ртути в учебном процессе общеобразовательной школы. Потенциальная опасность микромеркуриализма в школах обусловлена, с одной стороны, возможностью длительного пребывания учащихся в помещениях, которые могут оказаться загряз-

ненными ртутью, с другой — повышенной чувствительностью детского организма к токсическим воздействиям. Известно, что при больших колебаниях индивидуальной чувствительности к ртути она особенно выражена у детей и подростков. Имеются данные о повышенной чувствительности к ртути подростков с лабильной вегетативной нервной системой, нейроэндокринными нарушениями и эмоциональной неустойчивостью.

На протяжении длительного времени врачи-гигиенисты различных городов (Москва, Киев, Днепропетровск, Харьков, Новосибирск, Вильнюс и др.) констатировали факты, свидетельствующие о потенциальной угрозе хронических ртутных интоксикаций в условиях общеобразовательных школ. Так, ртутные пары были обнаружены в 66,4 % всех обследованных кабинетов физики московских школ и 76,5 % препараторских при них. При этом в значительном количестве отобранных проб содержание паров ртути находилось на уровне ПДК, установленной санитарным законодательством в то время для воздуха производственных помещений ($0,01 \text{ мг/м}^3$) или превышало эту величину.

Особое внимание обращалось на более высокие содержания паров ртути в воздухе рабочей зоны преподавателя и в пробах, отобранных на расстоянии 0,5 м от пола по сравнению с пробами, отобранными на уровне дыхания. Из общего количества исследованных проб воздуха в физических кабинетах школ ртуть не была обнаружена только в 25 % проб, а в 23 % проб концентрация ртутных паров превышала $0,01 \text{ мг/м}^3$; аналогичные данные по препараторским помещениям составляют соответственно 6 и 35 %. Исследованиями воздушной среды школьных помещений Харькова также был подтвержден факт наличия ртутных паров в кабинетах физики, особенно в препараторских при них.

Необходимо отметить, что общеобразовательная учебная программа по химии также предусматривает применение ртути.

Аналогичные исследования, предпринятые в школах Киева, также установили высокую частоту загрязнения ртутью кабинетов физики и химии. Пары ртути были обнаружены в 83 % всех отобранных проб в кабинетах химии, причем в половине отобранных проб содержание ртути превышало в два раза величину ПДК — $0,01 \text{ мг/м}^3$.

Основным источником загрязнения воздуха химических кабинетов ртутью долгое время служила демонстрация учащимся опыта с разложением оксида ртути (II), а также металлическая ртуть, демонстрируемая на занятиях как пример жидкого металла. Опыт диссоциации HgO на металлическую ртуть и кислород проводят при высокой температуре, что способствует интенсивным испарениям ртути и поступлению ее паров в воздух кабинетов. Кроме того, следует помнить, что красный оксид ртути уже при комнатной температуре интенсивно выделяет ртутные пары в воздух, при этом повышение температуры от 20 до 30 °C приводит к увеличению содержания ртути в воздухе более чем в 2 раза. В ряде школ наблюдалась постановка опытов с использованием металлической ртути и ее соединений, не предусмотренных учебной программой. В некоторых препаративных отведенных для хранения различных ртутных соединений сверхутвержденного табелем типового оборудования, в частности нитрата ртути. Так, в ряде киевских школ кроме опытов по диссоциации HgO учащимся демонстрировали опыты с получением амальгамы. Напомним, что некоторые ртутные соли уже при обычной температуре выделяют пары ртути в воздух.

Данные о содержании паров ртути в пробах воздуха, отобранные в кабинетах физики школ Киева, показывают, что в 57 % отобранных проб воздуха содержание ртути оказалось выше 0,01 мг/м³. В тех случаях, когда содержание ртути достигало значительных величин, наличие ртутных паров в воздухе в больших концентрациях носило, как правило, временный характер, обусловленный тем, что исследования проводились в период демонстрации опытов.

В ряде кабинетов химии и физики в пределах одних и тех же рабочих мест сопоставлены содержания ртути до и после постановки опыта или его демонстрации, таких как опыт Торичелли, диссоциации HgO и других, связанных с использованием ртути. Содержание ртутных паров в воздухе, особенно у рабочего стола преподавателя, на котором проводилась демонстрация, резко возрастает, а в последующем — постепенно снижается, возвращаясь нередко к тем величинам, какие отмечались до постановки опыта.

Во многих кабинетах физики и химии в «подпольном пространстве» выявлено наличие так называемой залеж-

ной ртути. Кроме того, в строительных конструкциях и учебной мебели обнаружена ртуть, сорбированная из воздуха.

Наиболее радикальными мероприятиями по предупреждению неблагоприятного воздействия ртути является полное исключение ее из учебного процесса, замена ее в приборах на безвредные или менее токсичные соединения, максимальное сокращение демонстраций, связанных с применением ртути или ее солей. Отметим, что такая постановка вопроса встретила широкую поддержку со стороны преподавателей физики и химии, которые предложили много вариантов приборов и методик проведения отдельных лабораторных работ, при которых использование ртути или значительно уменьшается, или исключается полностью.

Министерство здравоохранения СССР утвердило программу санитарно-технического минимума для лаборантов кабинетов физики и химии общеобразовательных школ, школ-интернатов и других учебно-воспитательных учреждений по вопросу работы со ртутью и профилактике ртутных отравлений. Органам здравоохранения по договоренности с органами народного образования и институтами усовершенствования учителей было поручено организовать специальные семинары по этой тематике, а органам санитарного надзора — усилить контроль за санитарным состоянием школ. В настоящее время ртуть полностью изъята из школьной лабораторной практики.

4.4. Гигиеническое значение источников вторичного загрязнения

Ртуть относится к веществам, которые способны сорбироваться строительными конструкциями, производственным и лабораторным оборудованием, спецодеждой и так далее с образованием источников вторичного загрязнения.

Известно, что способностью сорбироваться строительными конструкциями и материалами обладают ряд токсичных веществ: свинец, тетраэтилсвинец, бензол, нитробензол, дихлорэтан, сероводород и некоторые другие. Однако не для всех из них образование «депо» в конструкциях обуславливает потенциальную опасность последующего воздействия на организм рабочих. Опас-

ность «депо» токсичных веществ в строительных конструкциях определяется двумя моментами: сохранением токсичными веществами в депонированном состоянии своей химической структуры, а следовательно, биологической активности, и «способностью» их к десорбции, т. е. повторному поступлению в воздух. В связи с тем что для ртути характерны перечисленные выше свойства, вопросы загрязнения конструкций ртутью приобретают особый интерес.

Способность ртути к десорбции обуславливает необходимость при санитарной оценке «ртутной опасности» ни в коем случае не ограничиваться только определением содержания паров ртути в воздухе, а проводить всестороннее и детальное изучение всех возможных источников загрязнения и условий воздействия ртути. В пользу этого свидетельствуют случаи микромеркуриализма среди рабочих, не имеющих отношения к работам со ртутью, но находившихся в помещениях, где работы с открытой ртутью были прекращены много месяцев назад.

Установлено наличие паров ртути в воздухе градуировочных мастерских в тех случаях, когда градуировка не производилась, что объясняется десорбцией ртути из штукатурки. На примере производства промедола, где ртуть применялась в качестве катализатора, было проведено сравнение содержания парообразной ртути во время функционирования предприятия и в период полного прекращения производственного процесса. Оказалось, что если при функционирующей технологии содержание паров ртути в 3—7 раз превышало ПДК, то в период полной остановки производства и после промывки аппаратуры и обычной уборки помещения ртутные пары определялись в воздухе в содержаниях 0,014—0,02 мг/м³, т. е. превышали предельно допустимые в 1,5—2 раза. При этом ртуть проникала на всю глубину штукатурки, а содержание сорбированной ртути составляло 1,3—5,1 мг на 100 г навески. Описан случай вторичного загрязнения «залежной» и сорбированной ртутью приемных комнат детских яслей и т. д.

Подробные данные по указанному вопросу приведены И. М. Трахтенбергом, которому принадлежит вывод о том, что загрязненные «залежной» и сорбированной из воздуха ртутью строительные конструкции со временем становятся основным источником вторичного по-

ступления ртутных паров в зону дыхания работающих.

Результаты последующих исследований [69, 70] показали, что образование источников вторичного загрязнения в результате сорбции ее паров строительными конструкциями, производственным оборудованием, рабочей (лабораторной) мебелью не зависит от характера использования ртути. Так, процент положительных (указывающих на наличие ртути) результатов проб штукатурки стен и перегородок колеблется в широких пределах (36,3—100,0 %). При этом как для промышленных предприятий, так и для лабораторий, постоянно использующих ртуть, процент положительных результатов намного выше (88,2—100,0 %) по сравнению с лабораториями, использующими ртуть в небольшом количестве и периодически (36,3 %).

В данных по лабораторным помещениям отмечена прямая зависимость между частотой положительных результатов анализов, с одной стороны, и содержанием ртути в конструкциях, с другой. Более высокому проценту положительных проб в лабораториях, постоянно использующих ртуть (97,8 % по сравнению с 36,3 % в лабораториях, использующих ртуть периодически), отвечает более высокое содержание ртути в конструкциях (91,0 % проб содержит 0,001 кг/г ртути и больше по сравнению с 47,4 % в сопоставляемой группе лабораторий).

Отметим, что на промышленных предприятиях не всегда наблюдается прямая зависимость между частотой положительных анализов и содержанием ртути в «депо». Так, процент положительных результатов проб штукатурки Сумского завода электроавтоматики (93,3 %) несколько выше, чем аналогичный показатель по Лохвицкому приборостроительному заводу (89,8 %). Однако если большая часть положительных проб (71,4 %), отобранных на заводе электроавтоматики, содержала ртуть в количестве до 0,0009 мг/г включительно, то основную массу проб, отобранных на приборостроительном заводе (73,7 %), составили те, при анализе которых ртуть определялась в количествах, равных и превышающих 0,001 мг/г. Загрязнение ртутью строительных конструкций приборостроительного завода таким образом намного выше.

Следовательно, при гигиенической оценке степени за-

грязнения конструкций депонированной ртутью необходимо учитывать как процент положительных результатов, так и фактическое содержание ртути в конструкциях.

При анализе закономерностей образования источников депонированной ртути было установлено, что содержание ртути в строительных конструкциях при прочих равных условиях определяется содержанием ее паров в воздухе. Так, процент положительных результатов анализов проб конструкций «ртутных участков» химического цеха (100,0 %) выше как по сравнению с аналогичными показателями для отделений ксантогенирования и растворения (83,3 %), так и по сравнению с процентом положительных анализов проб (55,5 %) наружной поверхности стен корпуса химического цеха (строительные конструкции не были подвергнуты специальной «защите»).

Еще более показательны данные, касающиеся содержания ртути в «депо»: если в 71,8 % проб штукатурки «ртутных участков» ртуть определялась в количествах, равных и превышающих 0,01 мг/г, то основную массу проб отделений ксантогенирования и растворения (85,0 %) составляют пробы с содержанием 0,001—0,009 мг/г ртути. В пробах наружной поверхности стен корпуса вискозного производства содержание ртути не превышало 0,005 мг/г, т. е. было еще более низким. Аналогичные данные получены и в условиях приборостроительного завода.

Определяющее влияние содержания ртути в воздухе на степень сорбции ее паров проявляется также в том, что участки строительных конструкций, которые расположены вблизи зон выделения в воздух паров ртути, содержат ее намного больше по сравнению с общим фоном загрязнения конструкций всего помещения. Возможность образования локальных очагов более высокого загрязнения строительных конструкций должна учитываться при отборе проб для лабораторных анализов: наряду с усредненными пробами необходимо (с учетом размещения оборудования) делать и анализировать и разовые.

Сорбция строительными конструкциями паров ртути происходит при незначительных в сравнении с величиной максимально разовой ПДК ртути в воздухе рабочей зоны (0,01 мг/м³) количествах последних. Однако когда со-

держание ртути достигает величин, соизмеримых с ПДК в атмосферном воздухе (0,0003 мг/м³), то сорбция ртути строительными конструкциями зданий практически не происходит.

Большое влияние на количество депонированной ртути оказывают наличие и свойства специальных покрытий, применяемых для «защиты» строительных конструкций. Наиболее показательные в этом отношении данные получены на комбинате химического волокна, где фундаменты технологического оборудования были защищены от воздействия концентрированных растворов щелочи при помощи антикоррозийного покрытия на битумной основе. Результаты анализов показали, что содержание ртути в фундаментах по сравнению с ее содержанием в «защищенной» кирпичной кладке стен было ниже на один-два порядка величин (температура поверхности фундаментов и ограждений практически одинакова). В то же время «защищенные» составы на основе битума фундаменты оборудования «ртутных участков» химического цеха все же содержали ртуть в пределах тысячных долей миллиграмма на грамм, в то время как аналогичным образом «защищенные» фундаменты оборудования отделения растворения не содержали ртути. Этому соответствует и факт различной эффективности масляного покрытия конструкций в зависимости от содержания ртути в воздухе: относительно высокий «защитный» эффект при содержании ртутных паров до 0,005 мг/м³ (отделение растворения химического цеха) и отсутствие существенного эффекта при содержании в воздухе 0,05—0,11 мг/м³ ртути (приборостроительный завод).

Таким образом, предотвращение образования «депо» ртути в строительных конструкциях возможно только при одновременном проведении комплекса «защитных» мероприятий, направленного на снижение содержания паров ртути в воздухе.

Вследствие применения «защитных» покрытий на промышленных предприятиях содержание ртути в «депо» зачастую оказывается более низким, чем при лабораторном использовании ртути, где предупреждению образования источников сорбированной ртути ранее не придавалось должного значения.

Интенсивность процессов сорбции ртути зависит во многом от свойства самих материалов, в частности от их пористости и структуры пор (сквозных или слепых).

Проведенные исследования показали, что влияние свойств материалов сказывается и при наличии «защитных» покрытий. Так, при прочих равных условиях в пробах деревянных конструктивных элементов (балки, оконные переплеты, подоконники) под слоем масляной краски содержится меньше ртути, чем в аналогичном образом «защищенной» штукатурке стен. Установлена способность ртути проникать на большую глубину в толщу строительных конструкций. При этом более высокому содержанию ртути в штукатурке отвечают более высокие величины содержания ее в кирпичной кладке стен (коэффициент ранговой корреляции колеблется в пределах 0,57—0,84). По мере проникновения в глубину конструкций содержание ртути уменьшается. Снижение содержания ртути в пробах кирпичной кладки стен по сравнению с содержанием ртути в штукатурке статистически достоверно ($p < 0,05$).

В эксперименте, при котором специально изготовленные образцы бетона экспонировались в течение 12 месяцев в атмосфере, насыщенной парами ртути при температуре 18—23 °С, было установлено, что содержание ртути в образцах (по данным анализов смывов, а также проб, отобранных с глубины до 1 мм и глубины 4—6 мм) постоянно увеличивалось и скорость диффузии ртути в толще бетона составляла около 0,5 мм/мес.

Результаты проведенных исследований подтвердили предположение о том, что сорбированная строительными конструкциями ртуть является источниками дополнительного загрязнения воздуха рабочей зоны. Дополнительное загрязнение воздуха за счет источников вторичного загрязнения (по данным работы [120] удельный вес выделения ртути из источников вторичного загрязнения составляет до 40 %) способствует как повышению общего уровня содержания ртути в воздухе, так и стабилизации этого повышенного уровня в результате образования системы: воздух — «депо» — воздух. Наличие паров ртути в то время, когда работы со ртутью не проводятся, а также низкая в ряде случаев эффективность общепринятых оздоровительных мероприятий объясняются наличием источников вторичного загрязнения воздуха.

Загрязнение конструкций зданий на всю толщину может приводить также к поступлению ртути в смежные

помещения и дополнительному загрязнению воздуха промышленной площадки и наружной атмосферы.

Однако значение источников вторичного загрязнения не ограничивается их ролью как фактора дополнительного поступления ртути в воздух рабочей зоны. Проведенные исследования позволяют прийти к выводу о самостоятельном гигиеническом значении вторичного загрязнения воздуха парами ртути. Установлено, что исключительно за счет источников вторичного загрязнения в воздухе могут образовываться и длительно поддерживаться высокие содержания паров ртути. Так, в одной из лабораторий Института металлокерамики АН УССР после прекращения всех работ со ртутью, демонтажа оборудования и вентиляционных систем содержание паров ртути составило 0,13—0,15 мг/м³ (пробы отбирались в данном случае после пятидневного «выдерживания» помещения при закрытых окнах, форточках и дверях). В другом помещении этого же корпуса пары ртути с содержанием 0,05—0,07 мг/м³ были обнаружены после того, как все работы со ртутью в нем были прекращены около шести лет назад и в течение всего указанного отрезка времени в нем размещалась библиотека.

Результаты анализа проб воздуха, отобранных в одном из корпусов спустя 13 лет после прекращения в нем работ с использованием ртути, выявили наличие ее паров в 14 пробах из 17 в содержаниях колеблющихся от 0,04 мг/м³ до 0,13 мг/м³. При этом ртуть была выявлена как в помещениях, где в прошлом работали с нею и в последующем были обнаружены источники «залежной» ртути, так и в тех помещениях, где со ртутью не работали и видимые источники капельной ртути отсутствовали.

Содержание паров ртути в воздухе помещений биохимической лаборатории одного из клинических институтов, обусловленное поступлением ее из вторичных источников, колебалось в широких пределах: 0,005—0,04 мг/м³, причем в 18 из 26 проб оно равнялось и даже превышало ПДК.

Важным с гигиенической точки зрения является то, что эти повышенные содержания ртути, являющиеся следствием вторичного загрязнения воздуха, поддерживались в течение длительного времени. В воздухе ряда производственных помещений службы наладки теплоизмерительных приборов пары ртути определялись через

шесть лет после прекращения работ со ртутью, проведения химической демеркуризации полов и декоративного ремонта помещений. Так, на заводе газоразрядных ламп после демонтажа оборудования, промышленных проводок и вентиляционных установок в воздухе «ртутного блока» содержалось 0,01 мг/м³ ртути.

Вывод о самостоятельном гигиеническом значении вторичного загрязнения воздуха ртутью базируется и на том, что за его счет могут образоваться новые источники, названные нами источниками «третьего порядка». Этим термином определяются те дополнительные источники, которые образуются исключительно в результате сорбции паров ртути объектами производственной или лабораторной обстановки после того, как первичное загрязнение воздуха в силу тех или иных причин перестало играть свою роль. Таким образом, наличие источников вторичного поступления ртути в воздух определяет возможность дальнейшего загрязнения ею объектов производственной и лабораторной обстановки. Образование источников «третьего порядка» служит доказательством наличия круговорота ртути между воздухом и объектами производственной и лабораторной обстановки даже при отсутствии источников первичного загрязнения.

Предпринятые нами наблюдения позволили не только определить роль «депо» сорбированной ртути как существенного источника вторичного поступления ее паров в воздух, но и выяснить, влияет ли содержание ртути в конструкциях на интенсивность загрязнения воздуха ртутью. Для сопоставления результатов исследования пробы воздуха на протяжении всего наблюдения отбирались в трех фиксированных точках помещения после пятидневной «экспозиции» его при закрытых окнах, дверях и форточках. Было установлено, что при содержании ртути в «депо» (штукатурка стен и потолка, покрытие пола) на уровне сотых-тысячных долей миллиграмма на грамм содержание ее паров в воздухе находилось в пределах одной-двух десятых долей миллиграмма на кубический метр. Когда в результате удаления наиболее загрязненных конструкций содержание ртути во всех «депо» оказалось на уровне тысячных долей миллиграмма на грамм, содержание ее паров в воздухе снизилось до уровня сотых долей миллиграмма на кубический метр. После того, как в результате изоляции элементов основа-

ния пола и удаления штукатурки со стен и потолка содержание ртути в «депо» (кирпичная кладка стен и перекрытие) снизилось до десятитысячных долей, содержание ее паров в воздухе составляло тысячные доли.

На основании этих данных можно сделать вывод, что при заданных условиях эксперимента была установлена следующая зависимость: содержание ртути в воздухе (в миллиграммах на кубический метр) на один порядок выше порядка содержания ртути в строительных конструкциях (в миллиграммах на грамм).

Естественно предположить, что при иных условиях (в частности, при другом соотношении суммарной площади десорбции ртути из конструкций к объему воздуха в помещении, а также в зависимости от условий воздухообмена и температуры воздуха и конструкций) эти отношения могут изменяться в ту или другую сторону. Тем не менее установленную закономерность можно использовать для классификации интенсивности источников депонированной ртути в зависимости от содержания ртути в конструкциях, из которых непосредственно осуществляется десорбция ее паров (штукатурка стен, потолка, колонн, покрытие пола).

Выделяют три степени загрязнения: первая (незначительной интенсивности), когда содержание ртути в «депо» в подавляющем большинстве проб или по средним значениям находится на уровне десятитысячных долей миллиграмма на грамм; вторая (средней интенсивности) — на уровне тысячных долей; третья (высокой интенсивности) — на уровне сотых долей миллиграмма на грамм.

Как показали производственные исследования, существенным моментом, определяющим стабильный характер загрязнения воздуха при наличии источников депонированной ртути, является наличие ртути в несущих конструкциях. Так, при условии, что загрязнение конструкций ограничивалось поверхностными слоями, прекращение «первичного» поступления ртути в течение 10 месяцев при интенсивном проветривании привело к существенному снижению содержания ртути в конструкциях и, наоборот, при проникновении ртути в толщу несущих конструкций при тех же условиях содержание ее в поверхностно расположенных «депо» существенно не снизилось.

В связи с этим гигиеническая классификация источников депонированной ртути (а равно, степени загрязнения конструкций) не может не учитывать глубину проникновения токсичного вещества в толщу конструкции. Исходя из рассмотренных выше данных, можно выделить источники поверхностного загрязнения, когда несущие конструкции (междуэтажные перекрытия, ограждения, колонны, фундаменты оборудования) свободны от ртути, и источники массивного загрязнения, когда несущие конструкции содержат ощутимые количества ртути (не меньше 0,0005 мг/г).

Таким образом, в основе предложенной нами классификации источников депонированной ртути по количественному признаку лежат два гигиенических критерия: содержание паров ртути, создаваемое исключительно за счет десорбции ртути из «депо», и стабильность загрязнения воздуха помещений. Показательно, что каждый из двух выше приведенных критериев определяется самостоятельной характеристикой «депо»: содержанием в нем ртути и глубиной ее проникновения.

Правомерность такого подхода к классификации источников депонированной строительными конструкциями ртути подтверждается наличием определенной взаимосвязи между отдельными характеристиками «депо»: источники первой степени загрязнения являются, как правило, поверхностными, а третьей — массивными. Что касается источников второй степени интенсивности загрязнения, то они могут быть как массивными, так и поверхностными.

Основным выводом из результатов предпринятых исследований, имеющим первостепенное практическое значение, является то, что наличие «депо» сорбированной ртути требует проведения специальных оздоровительных мероприятий, направленных на предотвращение вторичного загрязнения воздуха парами ртути.

5. ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ И ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ РТУТИ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЙ

Экологию и гигиену как научные дисциплины объединяют не только комплексный подход к изучению объекта (предмета) исследования (объединение представителей различных научных дисциплин вокруг экологической

и гигиенической тематики), не только их тесная связь с мировоззренческой функцией науки, с философскими аспектами деятельности ученых, но и обязательный нормативный характер результатов научной работы в их конечном прикладном аспекте. При этом в отличие от гигиены экология еще не располагает богатым позитивным материалом, а довольствуется в основном негативным, т. е. указывает, чего не следует делать и за какие пределы не стоит переступать человеку в его стремлении покорить себе природу. Тем более обе дисциплины останутся нормативными по мере накопления позитивного знания. Однако сегодня и экология, и гигиена опираются на понятия предела возможных воздействий человека на окружающую среду (прикладная цель социальной экологии) и факторов окружающей среды на организм человека (прикладная цель гигиены). Этот аспект обеих научных дисциплин в наибольшей мере воплотился в регламентировании (нормировании) химической нагрузки на окружающую среду и организм человека.

5.1. Принципы экологического нормирования химических загрязнений биосферы

Экологическое нормирование химических загрязнений предусматривает установление таких уровней загрязнения природных сред, воздействие которых не только на человека, но и на популяции растений, животных и биоценоз в целом можно считать допустимым. При этом представление о том, что соблюдение гигиенически обоснованных ПДК, например загрязняющих атмосферу веществ, гарантирует их безвредность для любых растений не подтверждается.

Специалистами в области экологии предложены два типа химической нагрузки на природные системы (критическая и допустимая) и два уровня ее нормирования (глобальный и биогеоэкологический) [54, 55]. Среди природных систем различают уникальные, естественные и антропогенные (вторично измененные). Считается, что уникальные природные системы не должны испытывать нагрузки, превышающие допустимый уровень, естественные системы могут испытывать нагрузки, приближающиеся к критическим, для антропогенных систем допустим критический уровень нагрузки при условии сохра-

нения лишь каких-либо нужных для человека популяций животных и растений, но при обязательном обеспечении ПДК, обоснованных по гигиеническим соображениям.

Под допустимой химической нагрузкой на окружающую природную среду понимают такую нагрузку, которая не меняет качество окружающей природной среды или меняет его в допустимых пределах, т. е. не влечет за собой разрушение существующей эволюционно сложившейся экологической ситуации и возникновения неблагоприятных последствий у важнейших, и в первую очередь человеческой, популяций. Качество окружающей природной среды с позиции экологии считается достаточно высоким, если обеспечены:

а) нормальное функционирование экосистемы в целом, т. е. превышение предельно допустимой экологической нагрузки (ПДЭН) на данную экосистему недопустимо;

б) отсутствие нежелательных последствий у отдельных популяций — соблюдение таких величин нагрузки, которые не оказывают влияния непосредственно на данную популяцию (например, ПДК для человека, стандартов для растительности) или на звенья экологической цепочки, имеющие определяющее значение для данной популяции (например, для отдельных видов промысловых рыб).

В отличие от допустимой экологической (химической) нагрузки под ПДЭН понимают такой уровень, при достижении которого может начаться разрушение экосистемы, а превышение его сопровождается ущербом популяции, экосистемы или биосферы в целом.

Оценка конкретной нагрузки, ее физической интенсивности как допустимой, предельно допустимой (критической) или недопустимой зависит от прочности резерва защитных сил, которыми обладает конкретная экосистема. Известно, что экосистемы крайнего севера нашей страны обладают невысокой способностью ассимилировать химические и прочие воздействия, медленно заживают «раны», которые им наносит непродуманная деятельность человека. Так же медленно протекают процессы восстановления нарушенных биогеоценозов в условиях недостатка влаги. Именно такие особенности необходимо учитывать при оценке биогеоэкологического уровня нормирования. Глобальный подход к установлению

допустимой экологической антропогенной нагрузки химических веществ вытекает из общего баланса преимущественно тех химических загрязняющих веществ, которые, отличаясь высокой стабильностью во внешней среде, включаются в естественный круговорот веществ и лимитирующее действие которых на экосистему в целом определяется неблагоприятным прямым или опосредованным влиянием на человека. Ртуть — одно из первых химических веществ, для которого была предпринята попытка установления глобального допустимого выброса в атмосферу. Тем самым было подчеркнуто, что приоритет при разработке и обосновании допустимых экологических нагрузок отдан защите человека [4].

5.2. Принципы гигиенического нормирования допустимого содержания вредных веществ в объектах окружающей среды

Гигиеническое нормирование химических веществ (а наша страна — пионер в этой области) берет свое начало с тридцатых годов, когда были обоснованы и законодательно регламентированы первые предельно допустимые концентрации 23 веществ в воздухе рабочей зоны. В условиях бурного развития промышленности, вовлечения в трудовую деятельность на современных предприятиях больших контингентов рабочих на первый план была поставлена задача охраны их здоровья от возможного неблагоприятного воздействия факторов производственной обстановки. В течение первых 15—20 лет гигиеническая токсикология развивалась преимущественно как промышленная, а нормирование — как установление пределов воздействия производственных факторов на организм работающих. В послевоенные годы развитие получила водная гигиеническая токсикология, токсикология атмосферных загрязнителей, пищевая токсикология, а в последнее десятилетие — учение о гигиеническом нормировании допустимого содержания химических веществ в почве. Сегодня профилактическая токсикология в нашей стране базируется на прочном фундаменте медико-биологических исследований [91, 118] и успешно развивается.

Узловым понятием гигиенической стандартизации вредных веществ в объектах окружающей среды является понятие предельно допустимой концентрации. Оно

прошло сложную эволюцию сообразно развитию токсикологии и учения о гигиеническом нормировании вредных веществ, и в своей формулировке, принципах и методике обоснования отражает специфику воздействия химических веществ на организм работающих в производственных условиях или на разнообразных контингенты лиц, проживающих в условиях населенных пунктов. В соответствии с ГОСТ 12.1.005—88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» под предельно допустимой концентрацией веществ в воздухе рабочей зоны понимают такую концентрацию вещества, воздействие которой при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. ПДК рабочей зоны выражается в миллиграммах вещества, содержащегося в 1 м³ воздуха (при стандартных условиях, т. е. 20 °С и 101,3 кПа) рабочей зоны — пространства высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих. В утвержденных МЗ СССР ПДК_{р.з} обязательно указываются преимущественное агрегатное состояние вещества в воздухе и класс его опасности по ГОСТ 12.1.005—88 или ГОСТ 12.1.007—76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

ГОСТ 17.2.1.04—77 «Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения» трактует термин «предельно допустимая концентрация примеси в атмосфере» как максимальную концентрацию примеси в атмосфере, отнесенную к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного действия, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов оговорены ГОСТ 17.2.3.01—86. При определении предельно допустимой концентрации атмосферного воздуха ПДК_{а.в} указывают класс опасности вещества и временной интервал, к которому отнесен норматив: максимальный разо-

вый (ПДК_{м.р}, контроль в течение 20—30 мин) и среднесуточный (ПДК_{с.с}, средний результат из четырех измерений, проведенных в течение суток в фиксированной точке и в фиксированное время).

В водной гигиенической токсикологии под предельно допустимой концентрацией вредного вещества (ПДК_{в.в}) понимают максимальную концентрацию, при которой вещество не оказывает прямого или опосредованного влияния на состояние здоровья человека (при воздействии на организм в течение всей жизни) и не ухудшает гигиенические условия водопользования. В списках ПДК_{в.в} приводится величина норматива, указывается класс опасности и лимитирующий признак вредности. Последний характеризуется наименьшей безвредной концентрацией вещества в воде (ГОСТ 17.1.1.01—77 «Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения»).

ГОСТ 17.4.1.03—84 «Охрана природы. Почвы. Термины и определения химического загрязнения» оперировал термином «предельно допустимое количество загрязняющего почву химического вещества (ПДК_п)», давая ему определения как максимальной массовой доле загрязняющего почву химического вещества, не вызывающего прямого или косвенного влияния, включая отдаленные последствия, на окружающую среду или здоровье человека. С учетом сказанного выше о принципах экологического нормирования химических загрязняющих веществ ясно, что во всех приведенных выше случаях, где говорится о внешней среде, речь идет об антропогенных (вторично измененных) природных средах, а не об уникальных или естественных средах.

Основополагающий принцип отечественной медицины — профилактика — нашел свое наиболее полное выражение в следующих принципах гигиенического нормирования: принципе опережения нормированием широкого применения веществ в народном хозяйстве и принципе приоритета медицинских (биологических) показаний при установлении величины санитарного стандарта (рис. 10). Большинство действующих стандартов вредных веществ установлено на основе данных экспериментов на животных. В связи с этим условия эксперимента (путь поступления вещества в организм животных, его агрегатное состояние, длительность эксперимента, условия содержания животных, количество особей в группе и т. д.)



Рис. 10. Основные этапы экспериментального обоснования гигиенических стандартов допустимого содержания вредных веществ в объектах окружающей среды

оговорены специальными документами методического характера и преследуют цель получения сопоставимых данных, которые можно с высокой надежностью экстраполировать на организм человека. С учетом особенностей возможного действия веществ в производственной обстановке или в условиях проживания населения использование лабораторных животных для нормирования допустимого уровня воздействия химических загрязняющих веществ потребовало научной разработки вопросов «нормы» показателей функционального состояния животных (с учетом возраста, пола, времени года), выработки критериев «вредности» действия химических веществ на организм и правил экстраполяции данных эксперимента на действующие в отношении человека нормативы.

В классическом токсикологическом эксперименте, проводимом с целью гигиенического нормирования, обязательно установление порога хронического действия вещества на организм лабораторного животного при заданной длительности эксперимента (в ингаляционных опытах регламентируется и продолжительность ежедневного поступления веществ) и выявление зависимости между дозой или концентрацией вещества и эффектом действия. В ряде случаев устанавливают зависимость скорости развития патологического процесса или ответной реакции организма от интенсивности воздействия (зависимость доза — время эффекта). Чаще всего, однако, фактически определяют дозу (концентрацию), близкую к пороговой, поскольку определить истинный порог практически невозможно и в этом нет необходимости. К величине ПДК_{р.з} переходят, уменьшая пороговую концентрацию в 3—20 раз, исходя из особенностей токсического действия вещества (выраженность вариабельности видовой резистентности животных к смертельным дозам вещества и его кумулятивных свойств, наличие и выраженность специфических эффектов и возможность развития отдаленных последствий действия и т. д.). В водной гигиенической токсикологии при лимитирующем санитарно-токсикологическом признаке вредности ПДК_{в.в} выводят из экспериментально установленной величины максимальной недействующей дозы (МНД), выраженной в миллиграммах на килограмм массы тела животного, длительное (в течение 6 мес.) введение которой не сопровождается появлением в организме животных изменений, оцениваемых как гигиенически значимые

с учетом принятых критериев вредности. МНД по условиям эксперимента в 5—10 раз ниже пороговой. Если же лимитирующим признаком вредности является обесчеловечивающий или органолептический, то в качестве ПДК_{в.в} принимается пороговая концентрация по одному из них. ПДК_{в.в} устанавливают исходя из величины подпороговой (недействующей) концентрации.

При нормировании загрязняющих веществ в почве устанавливаются следующие четыре показателя: максимальная массовая доля, исключая переход их в растения в количестве, превышающем допустимую остаточную концентрацию (ДОК), в атмосферный воздух и воду в количестве, превышающем соответствующие ПДК, а также массовая доля, не влияющая на процессы самоочищения и почвенный микробиоценоз. ПДК_п устанавливается по минимальному из перечисленных показателей.

В последнее время признана необходимость и принимаются конкретные шаги по нормированию веществ в отдельных средах с учетом того, что в реальных условиях одно и то же вещество может поступать в организм человека разными путями (и с выдыхаемым воздухом, и с водой, и с продуктами питания). Эти вопросы раньше всего были поставлены специалистами, занятыми изучением пестицидов, для которых характерно загрязнение продуктов питания и почвы (с последующей миграцией в атмосферный воздух, воду, переходом в продукты питания). При такого рода исследованиях необходимо установить максимально допустимую нагрузку (МДН) химического соединения на организм при поступлении в желудок или ингаляционно, располагать информацией о сравнительной токсичности веществ при поступлении их в организм различными путями, реальном содержании нормируемых веществ в продуктах питания, воде, атмосферном воздухе и возможной суммарной их дозе, поступающей в организм, величинах ПДК вещества для отдельных объектов окружающей среды при изолированном воздействии. Если МДН выше, чем реальное поступление веществ с пищей, водой и атмосферным воздухом, то разница между ними используется при регламентировании ПДК_{р.з}. Если МДН ниже, чем ожидаемое поступление веществ с пищей, водой и атмосферным воздухом при его содержании на уровне ПДК при изолированном воздействии, то ПДК должны быть снижены для предот-

вращения превышения МДН при одновременном поступлении веществ всеми перечисленными выше путями и с воздухом рабочей зоны.

Бурное развитие промышленности и химизация народного хозяйства требуют более оперативного ответа на запросы организаторов производства и инспектирующих служб о токсичности, опасности и возможных безопасных уровнях (концентрациях, дозах) веществ в объектах окружающей среды, чем его может дать классический токсикологический эксперимент, проводимый по полной схеме. В связи с этим: а) получили развитие ускоренные экспресс-экспериментальные и расчетные методы определения параметров токсичности и величин санитарных стандартов; б) схема токсиколого-гигиенического эксперимента была «привязана» к этапам технологической разработки новых химических процессов (поисковая стадия, стадия лабораторного эксперимента, опытно-промышленная наработка, двухступенчатое проектирование, промышленное производство продукта), а в водной гигиенической токсикологии дополнительно дифференцирована в зависимости от класса опасности веществ как водных загрязнителей; в) санитарные стандарты, обосновываемые по сокращенной схеме, получили юридический статус в форме ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) или ориентировочных допустимых уровней (ОДУ). ОБУВ утверждаются на ограниченное время (2—3 года). Допускается использование ОБУВ веществ в атмосферном воздухе и ОБУВ веществ в воздухе рабочей зоны с величиной норматива 1 мг/м³ и выше для предварительного санитарного надзора, т. е. при проектировании, строительстве и приеме в эксплуатацию новых производств. Статус ОБУВ присваивается также обоснованным по полной схеме гигиеническим стандартам веществ в воде и атмосферном воздухе, если не решены вопросы аналитического контроля их содержания в среде, для которой установлен норматив.

Обоснованные по показателям здоровья человека или безвредности для лабораторных животных величины ПДК (ОБУВ) являются в нашей стране государственным стандартом, имеют юридический статус обязательности для всех ведомств. В отличие от этого за рубежом (в капиталистических странах) между рекомендациями врачей о величинах ПДК и официальными правитель-

ственными списками имеется определенная разница, несущая на себе следы компромисса между разработчиками норматива, предпринимателями и правительством. Не удивительно, что, как правило, зарубежные нормативы выше не только отечественных, но и рекомендованных рабочими группами ВОЗ.

При гигиеническом нормировании вредных веществ в воздухе рабочей зоны на первый план выступает собственно токсическое действие веществ в различных его проявлениях — общетоксическое, раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей, аллергенное, гонадо- и эмбриотоксическое, мутагенное, канцерогенное и т. д. Долгое время при этом установленный норматив рассматривался как максимально разовый, что было обусловлено недостаточностью знаний и стремлением придать нормативам большую надежность. Однако ввиду однобокости такого подхода для веществ с выраженной кумуляцией было признано целесообразным наряду с максимально разовым утверждать среднесуточные нормативы. Первые среднесуточные нормативы были утверждены в отношении тяжелых металлов и их производных ГОСТ 12.1.005—76 (ныне ГОСТ 12.1.005—88).

При нормировании веществ в атмосферном воздухе (а такого рода гигиенический норматив должен защитить от воздействия вредных веществ все группы населения, проживающего около источника загрязнения) учитывается как собственно токсическое действие веществ на организм, так и способность химических соединений изменять условно-рефлекторную деятельность центральной нервной системы, и прежде всего коры головного мозга. Осознаваемое или даже лежащее ниже порога субъективного восприятия запаха воздействие химических веществ способно служить условным раздражителем, изменяющим функциональное состояние центральной нервной системы, образовывать временные, но довольно прочные связи с безусловными раздражителями, сформировавшимися в организме в ответ на воздействие химического соединения. Сообразно этому различают среднесуточные предельно допустимые концентрации ($\text{ПДК}_{\text{ср.с}}$) вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест, обосновываемые в опытах на лабораторных животных и призванные защитить население от собственно токсического воздействия, и максимально разовые ($\text{ПДК}_{\text{м.р}}$), лежащие ниже порога действия веществ на ус-

ловно-рефлекторную деятельность человека (последние обосновываются в кратковременных опытах на добровольцах с использованием заведомо безвредных для здоровья людей уровней воздействия химических веществ). Такое двойное нормирование имеет место, когда $\text{ПДК}_{\text{м.р}} > \text{ПДК}_{\text{ср.с}}$. Если $\text{ПДК}_{\text{м.р}} = \text{ПДК}_{\text{ср.с}}$, то действует единый норматив, как и в тех случаях, когда порог общетоксического действия ниже порога действия вещества на условно-рефлекторную деятельность. В последнее время была предпринята попытка аргументировать возможность установления более дифференцированных по времени осреднения ПДК атмосферных загрязнений. В качестве регламентированных временных интервалов, наряду с 30-минутным и суточным, приняты месяц, квартал и год. При этом кратковременное превышение $\text{ПДК}_{\text{а.в}}$ на определенную величину предлагалось считать допустимым, если за более длительный период осреднения превышение отсутствует. Однако это предложение не получило одобрения большинства специалистов.

Нормирование веществ в воде учитывает не только возможность непосредственного токсического действия химических соединений на организм человека при поступлении их с водой (потребность в воде оценена в 3 л, масса тела условного человека принята равной 60 кг, при переходе от МНД (мг/кг) к ПДК (мг/дм^3) первое число умножают на 20), но и обеспечение условий водопользования и сохранение водоемом способности к самоочищению. Сообразно этому при изучении химических веществ как возможных источников загрязнения воды различают три группы показателей, отражающих опасность химического загрязнения воды: санитарно-токсикологические (отражают опасность токсического действия веществ во всех их проявлениях), органолептические (отражают возможность использования воды человеком для питьевых и коммунально-бытовых нужд с эстетических позиций — запах, привкус, мутность, цветность, наличие пленок и пенообразование) и общесанитарные (отражают способность воды водоемов к самоочищению в результате жизнедеятельности микроорганизмов). Для каждого химического вещества в эксперименте устанавливают пороговую концентрацию, а по показателям токсичности — максимально недействующую, определяют лимитирующий признак вредности и устанавливают величину $\text{ПДК}_{\text{в.в}}$. Если величины возможных $\text{ПДК}_{\text{в.в}}$

по токсикологическому и любому из остальных двух признаков вредного действия совпадают, то вещество нормируется по санитарно-токсикологическому показателю вредности как лимитирующему, признаваемому более опасным для человека.

При нормировании допустимого остаточного количества (ДОК) веществ в продуктах питания (такого рода нормативы устанавливают в отношении химических средств защиты растений) учитывают токсикологические свойства и органолептическую активность веществ, а также биологическую потребность человека в том пищевом продукте, в котором нормируется ДОК вещества¹.

Непосредственное воздействие загрязняющих веществ, содержащихся в почве, на здоровье человека практически исключено. Поэтому оценка содержания химических веществ в почве базируется на данных, отражающих влияние веществ на процессы самоочищения почвы, и ряде показателей, отражающих вероятность миграции веществ из почвы в атмосферный воздух, в воду и переход в растения. Сообразно этому различают четыре показателя вредности: миграционно-водный, миграционно-воздушный, транслокационный и общесанитарный. В процессе эксперимента определяют лимитирующий показатель вредности, а соответствующая ему наименьшая массовая доля загрязняющего вещества принимается в качестве ПДК_п.

Кроме установления собственно величины ПДК при гигиенической регламентации вредных веществ устанавливается и класс их опасности, а при регламентировании веществ в воздухе рабочей зоны оговаривают преимущественное агрегатное состояние соединения в воздухе — пар (газ), аэрозоль или сумма паров и аэрозолей, что имеет прямое отношение к методике санитарного контроля воздушной среды, поскольку агрегатное состояние веществ определяет процедуру отбора проб воздуха для анализа. Считается, что если ПДК_{р.з} в 10 и более раз выше насыщающей концентрации паров вещества при температуре 20 °С, то содержанием вещества в парообразном состоянии при его гигиеническом нормировании и последующем санитарном контроле можно пренебречь.

¹ Термину ДОК в настоящее время соответствует термин максимально допустимый уровень (МДУ).

При определении класса опасности веществ специалисты различных отраслей профилактической токсикологии исходят из различных критериев. Промышленные токсикологи опираются при этом на группу показателей, заложенных в ГОСТ 12.1.007—76 и приведенных в табл. 21. Как правило, класс опасности принимается по тому показателю, по которому его значение минимально.

Таблица 21. Классы опасности химических веществ как возможных факторов загрязнения производственной среды

Показатель	Класс опасности			
	I (чрезвычайно опасные)	II (высокоопасные)	III (умеренно опасные)	IV (малоопасные)
ПДК _{р.з} , мг/м ³	< 0,1	0,1 — 1,0	1,1 — 10,0	> 10,0
ЛД ₅₀ в желудок, мг/кг	< 15	15 — 150	151 — 5000	> 5000
ЛД ₅₀ на кожу, мг/кг	< 100	100 — 500	501 — 2500	> 2500
ЛД ₅₀ , мг/м ³	< 500	500 — 50000	5001 — 50000	> 50000
КВНО	> 300	300 — 30	29 — 3	< 3
Z _{ac}	< 6	6 — 18	19 — 54	> 54
Z _{ch}	> 10	10 — 5	4,9 — 2,5	< 2,5

Примечание. ЛД₅₀ — доза вещества, вызвавшая гибель 50 % животных в течение последующих четырнадцати суток наблюдения; ЛК₅₀ — концентрация вещества в воздухе, воздействие которой в течение 2 ч (мышь) или 4 ч (крыса) привело к гибели 50 % подопытных животных в течение последующих четырнадцати суток наблюдения; КВНО — отношение насыщающей концентрации паров вещества при 20° С к ЛК₅₀; Z_{ac} — отношение ЛК₅₀ к величине порога острого ингаляционного действия — минимальной концентрации, которая оказывает «вредное» действие на организм в сопоставимых условиях эксперимента; Z_{ch} — отношение порога острого ингаляционного действия к величине порога хронического действия — минимальной концентрации, которая оказывает «вредное» действие на организм при 4-часовом ежедневном воздействии 5 раз в неделю на протяжении четырех месяцев.

Класс опасности загрязняющих атмосферу веществ устанавливают в зависимости от угла наклона прямых «концентрация — время эффекта» (или их тангенсов). Поскольку для различных выявляемых в эксперименте показателей углы наклона различны, в законодательном порядке класс опасности устанавливается по прямой,

имеющей наибольший угол наклона к оси абсцисс (табл. 22).

Таблица 22. Классы опасности химических веществ как возможных факторов загрязнения атмосферного воздуха

Класс опасности	Параметр прямой	
	угол наклона, °	tg угла наклона
I	> 155	< 0,475
II	155 — 137	0,475 — 0,950
III	136 — 125	0,951 — 1,425
IV	< 125	> 1,425

Класс опасности водных химических загрязнителей определяют по:

совокупности показателей, представляющих собой отношение установленных в эксперименте подпороговых (пороговых) концентраций по отдельным показателям между собой;

величине МНД в хроническом санитарно-токсикологическом эксперименте;

отношению $ЛД_{50}$ к МНД;

степени избирательности отдаленных эффектов (табл. 23).

Таблица 23. Классы опасности химических веществ как возможных загрязнителей водной среды

Критерий	Класс опасности			
	I	II	III	IV
МНК/ПК _{орг}	—	1	1,1 — 10	10
МНК/ПН _{сан}	—	1	1,1 — 10	10
МКН	0,001	0,0011 — 0,1	0,11 — 10,0	10,0
ЛД ₅₀ /МНД	10 ⁶	10 ⁶ — 10 ⁵	10 ⁵ — 10 ⁴	10 ⁴
ПД _{отд} /ПД _{общ}	1	1 — 10	11 — 100	100

Примечание. МНК — концентрация вещества в воде, соответствующая МНД; ПК_{орг} и ПН_{сан} — пороговые концентрации вещества в воде соответственно по органолептическому и общесанитарному показателям вредности; ПД_{отд} — пороговая доза по отдаленным эффектам; ПД_{общ} — пороговая доза по общетоксическому действию.

При законодательной регламентации класса опасности предпочтение отдается тому показателю, по которому класс опасности наиболее жесткий.

ПДК являются не только контролируемым параметром санитарного состояния химического загрязнения окружающей среды, но и отправной точкой при обосновании предельно допустимых выбросов (ПДВ) и предельно допустимых сбросов (ПДС) вредных веществ соответственно в атмосферу и водные объекты. Под термином ПДВ (ГОСТ 17.2.1.04—77) понимают научно-технический норматив, устанавливаемый из условия, что содержание загрязняющих веществ в приземном слое воздуха от источника или их совокупности не должно превышать нормативов качества воздуха для населения, животного и растительного мира. Под ПДС (ГОСТ 17.1.1.04—80) понимают массу вещества в сточных водах, максимально допустимую к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте. Соотношения между ПДК и ПДВ (ПДС) иллюстрирует табл. 24.

Таблица 24. Сопоставление ПДК и ПДВ (ПДС) как контролируемых параметров состояния окружающей среды

Показатель сопоставления	пдк	пдв (пдс)
Характеристика норматива	Гигиенический, первичный	Технический, вторичный
Метод обоснования	Преимущественно экспериментальный	Расчетный
Сфера применения	Общесоюзный	Отраслевой, территориальный
Утверждающая организация	МЗ СССР	Отраслевое министерство, местные Советы народных депутатов
Согласующие организации	Согласованию не подлежит	Местные органы санитарного надзора, инспекции (водная и воздушная)
Срок действия	Постоянно	Не более 5 лет
Размерность	мг/м ³ (воздух), мг/дм ³ (вода)	г/ч (или сут), г/т (выпускаемого продукта)
Метод контроля	Аналитический	Аналитический, расчетный

Отечественная гигиеническая токсикология выработала оригинальные принципы и методику эксперимента, подходы к трактовке полученных данных, приемы экстраполяции экспериментального материала на величины нормативов, призванных защитить человека, получившие всеобщее признание. Закономерно, что специалисты нашей страны составили основной костяк авторского коллектива, который подготовил монографию «Токсикометрия химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (М., 1986), изданную под эгидой Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и Международного регистра потенциально токсичных химических веществ (МРПТХВ).

5.3. Особенности экологического нормирования и гигиенической стандартизации ртути и ее соединений

Экологическое нормирование ртути ограничивается обоснованием допустимого глобального выброса металла в атмосферу. Оно базируется на глобальном балансе ртути, ряде априорных допущений (пренебрежительно малом переходе ртути из гидросферы в атмосферу и почву), признании различной «судьбы» паров и аэрозоля ртути и ее соединений в атмосфере в зависимости от того, поступают ли они из естественных источников или в результате антропогенного загрязнения [55]. Основные различия миграции заключаются в том, что концентрация металла в антропогенных выбросах в сотни раз выше, чем при поступлении из естественных источников. Высокая температура антропогенных выбросов выносит загрязнение в высокие слои атмосферы. Химическая активность антропогенных форм металла (пары, растворимые соединения, органические соединения ртути) выше, чем природных, длительность существования промышленных аэрозолей меньше и они оседают преимущественно вблизи источников загрязнения, хотя частично вовлекаются в глобальный цикл миграции ртути. С повышением качества очистки вентиляционных выбросов удельный вес мелкодисперсных форм ртути растет и относительно больший ее процент вовлекается в атмосферный процесс [92]. Основополагающими при установлении величины глобального допустимого выброса ртути в атмосферу являются следующие данные и положения:

1) содержание ртути в атмосфере определяется в основном естественными источниками (оно изменяется пропорционально содержанию радона) и составляет $(0,4...0,7) \cdot 10^{-9}$ г/м³, естественное поступление ртути в атмосферу оценивается в 10^4 т/год;

2) с учетом времени, необходимого для достижения равновесия между содержанием ртути в паровой фазе и в аэрозольной форме (5 сут), и длительностью существования паров ртути в атмосфере (5 сут) общее время пребывания ртути в атмосфере составляет 10 сут; соответственно этому время выведения ртути из атмосферы оценивается в $3 \cdot 10^{-2}$ года;

3) содержание ртути над континентами примерно в 10 раз выше, чем над Мировым океаном. В столбе воздуха над континентальными областями содержится $1,5 \pm 0,5$ г/км² ртути, что приводит к выпадению за сутки $0,15$ г/км² металла. В целом в атмосфере содержится 350 т ртути (260 т над континентами и 90 т над океанами, площадь которых в 4 раза больше площади суши);

4) доля антропогенной ртути в атмосфере колеблется от 10 до 20 % и оценивается примерно в 50 т;

5) время выведения ртути из почвы в атмосферу составляет $4 \cdot 10^2$ лет, из почвы в гидросферу — $9 \cdot 10^2$ лет, на сушу осаждается 0,8 всего количества металла, находящегося в атмосфере.

Приняв ПДК_{а.в} равной $3 \cdot 10^{-7}$ г/м³, можно убедиться, что ее превышение может быть достигнуто при величине антропогенного выброса, равного 10^6 т/год, т. е. на два порядка больше, чем в настоящее время. Но иллюзия благополучия, которая создается при наличии такого большого «запаса» для антропогенного загрязнения, исчезает, если проанализировать дальше цепочку воздух — вода. Фоновое содержание ртути в поверхностных водах суши $1 \cdot 10^{-7}$ г/л, что всего в 50 раз ниже ПДК_{а.в}. При увеличении нагрузки на площадь водосбора начнет расти содержание ртути в воде. Оно станет равным ПДК_{а.в}, если интенсивность выбросов ртути в глобальном масштабе составит $(7...10) \cdot 10^4$ т/год, что всего в 7—10 раз превышает сегодняшний уровень. В локальных масштабах такая угроза реальна уже сегодня, особенно с учетом перехода неорганических соединений ртути в органические, более токсичные и опасные для всех форм жизни.

Эти данные свидетельствуют о том, что включение антропогенной ртути, загрязняющей атмосферный воздух, в глобальный цикл металла может привести к созданию опасных содержаний ртути в водной среде. В реальных условиях наблюдается также дополнительное поступление соединений ртути в водоемы со сточными водами. Особенно сложная обстановка создается в заливах — зонах контакта речной и морской воды, где выпадает основная масса взвешенных веществ [102]. Так, содержание взвешенных форм ртути в заливах (0,02 мкг/л) в 3—5 раз выше, чем в воде морей и океанов (0,006—0,004 мкг/л), в то время как содержание растворимых форм ртути при переходе от залива к океану уменьшается всего в 1,5—2,5 раза (с 0,05 до 0,03—0,02 мкг/л). Снижение содержания растворимых форм ртути (с 0,1 мкг/л — в реках до 0,05 мкг/л — в заливах) происходит в результате богато развитого в заливах планктона, который легче усваивает и поглощает растворимые формы микроэлементов. Контактные зоны пресных и морских вод выполняют роль колоссальных естественных «ловушек» как для растворимых, так и для взвешенных форм ртути. Защищая воду Мирового океана от поступления избыточных количеств тяжелых металлов, заливы становятся местом, где разыгрываются «экологические драмы» (темпы старения Великих озер США и Канады в десятки раз превосходят естественные), затрагивающие иногда и непосредственно человека (болезнь Минаматы).

Предельно допустимое содержание ртути в морской воде (ионы и молекулярно-фильтруемые формы фильтруются через фильтры с порами 0,5 мкм) составляет 0,001 мг/л. Этот уровень установлен на основании сочетания данных экспериментально-токсикологического и биогеохимического подходов, согласно которым признается, что настоящий средний уровень микроэлементов в воде океана — оптимум, а крайние пределы отражают критические уровни (максимальный и минимальный) содержания микроэлементов в морской воде.

Ртуть и ее соединения относятся к числу наиболее полно изученных в санитарно-токсикологическом отношении веществ. Гигиенические стандарты по содержанию ртути и ее соединений установлены практически для всех сред, из которых они могут поступать в организм человека (табл. 25).

ПДК паров ртути в атмосферном воздухе на уровне

Таблица 25. ПДК ртути в объектах окружающей среды

Регламентируемое вещество*	Воздух населенных мест, мг/м ³	Воздух производственных помещений, мг/м ³	Вода водоемов санитарно-бытового водопользования, мг/л	Почва (пахотный слой), мг/кг	Продукты питания, мг/кг
Ртуть	0,0003	0,005/0,01**		2,1 (независимо от химической формы ртути)	0,305 — 0,5 (для отдельных видов продуктов)
Неорганические ртутьсодержащие соединения	0,0003	0,5/0,2**	0,0005		
Органические соединения ртути		0,005***	0,0001		Ниже предела измерения рекомендованного метода

Примечания. * Содержание соединений ртути регламентировано по металлу;

** В числителе — среднесуточный, в знаменателе — максимально разовый норматив.

*** Максимально разовый норматив.

0,0003 мг/м³ была вначале предложена на основании расчетов, а затем экспериментально обоснована по показателям влияния на состояние условно-рефлекторной деятельности животных [78]. Однако в последнее время показано, что пары ртути при круглосуточном воздействии в концентрации 0,0003 мг/м³ обладают токсическим действием на репродуктивную функцию и потомство животных [50]. В соответствии с ГОСТ 17.2.1.01—76 «Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу» выбросы паров ртути обозначаются индексом А09 с дополнительным указанием цифрового обозначения массы вещества (шесть градаций).

В воздухе рабочей зоны для паров ртути установлены максимально разовый (0,01) и среднесуточный (0,005 мг/м³) нормативы. Величина максимально разового норматива была предложена в числе первых ПДК_{р.з.} в тридцатых годах на основании общих представлений о высокой

токсичности паров ртути и возможностей аналитического контроля («следы» ртути, которые в качестве официального норматива фигурировали в то время, с учетом аналитических возможностей того времени составляли около 0,01—0,02 мг/м³). В последующем была доказана высокая надежность этого норматива для обеспечения безопасных условий труда лиц «ртутных» профессий и обоснована необходимость располагать наряду с максимально разовым среднесменным стандартом. При его обосновании использовались данные о неблагоприятном действии паров ртути на организм в концентрациях, незначительно превышающих 0,01 мг/м³, результаты экспериментального изучения токсического действия паров ртути на уровне 0,008—0,03 мг/м³ и данные клинико-гигиенических наблюдений за состоянием здоровья рабочих, соприкасавшихся со ртутью в концентрациях 0,01—0,05 мг/м³ [128]. Надежность отечественного стандарта ПДК_{р.з} ртути неоднократно подтверждалась зарубежными исследователями, а также основной тенденцией его изменения за рубежом, заключающейся в снижении регламентируемого среднесменного норматива 0,1 мг/м³ (1964 г.) до 0,025 мг/м³ (рекомендация 1984 г.).

Неорганические ртутьсодержащие соединения (НРС) долгое время оставались вне нормирования. Только в последнее десятилетие были проведены экспериментальные исследования, позволившие научно обосновать ПДК_{а.в} и ПДК_{р.з} этой группы веществ. Нормативы НРС и паров ртути в атмосферном воздухе численно совпадают, в то время как в воздухе рабочей зоны значительно разнятся. При обосновании ПДК_{а.в} НРС в однократных, повторных и многократных экспериментах при различных путях поступления в организм (в основном ингаляционно) детальному санитарно-токсикологическому изучению были подвергнуты отдельные вещества (с учетом их растворимости) и смесь солей. Установлено совпадение порога хронического ингаляционного действия при круглосуточной экспозиции по общетоксическим показателям, показателям аллергенного, гонадо- и эмбриотоксического действия [31, 42]. Агрегатное состояние веществ в воздухе (пары, аэрозоль, сумма паров и аэрозолей) ни авторы, ни официальный список МЗ СССР не указывают. Между тем для кристаллических веществ основной формой нахождения в воздухе рабочей зоны, промышленной площадки и атмосферном воздухе

в районе размещения промышленных предприятий является аэрозоль. В соответствии с ГОСТ 17.2.1.01—76 для обозначения вентиляционных выбросов в атмосферу НРС используется следующая символика: ТО9 с дополнительным указателем цифрового обозначения преобладающего размера частиц (пять градаций) и массы вещества (шесть градаций).

При обосновании группового норматива аэрозоля НРС (по ртути) в воздухе рабочей зоны были доказаны возможность и целесообразность установления единой величины санитарного стандарта по содержанию НРС, получена информация по сравнительной токсичности при различных путях поступления в организм лабораторных животных большой группы производных одно- и двухвалентной ртути, установлены пороговые дозы и концентрации, оценены гонадо- и эмбриотоксическая активность и кумулятивные свойства группы галогенпроизводных ртути, обоснован выбор хлорида ртути (II) как эталонного вещества, установлен порог его ингаляционного хронического действия. НРС отнесены к веществам I класса опасности (чрезвычайно опасные), при работе с ними необходима защита кожи [130].

НРС в объектах санитарно-бытового водопользования в течение длительного времени были нормированы на уровне 0,005 мг/дм³. Пересмотр ПДК_{а.в} (в настоящее время действует норматив 0,0005 мг/дм³, I класс опасности) был проведен в начале восьмидесятых годов и основывался на том, что ртуть неорганических соединений избирательно влияет на гонады и потомство, а также вызывает атерогенный эффект [51, 72]. О надежности величин ПДК НРС в воде и атмосферном воздухе свидетельствует тот факт, что комплексное их воздействие (одновременное поступление в организм с питьевой водой и ингаляционным путем) на уровне ПДК при изолированном поступлении (0,0005 мг/дм³ и 0,0003 мг/м³ соответственно) не сопровождается гонадотоксическим эффектом [42].

Когда ПДК НРС в воде рыбохозяйственных водоемов была установлена на уровне 0,001 мг/дм³, в отдельных случаях соблюдение этой величины тем не менее приводило к накоплению ртути в рыбе в содержаниях, превышающих ДОК [65]. Поэтому в настоящее время наличие ртути в воде считается недопустимым (ПДК — отсутствие, 0,00001 мг/дм³).

ПДК ртути в почве (2,1 мг/кг) установлено безотносительно химической формы, в которой она находится. При обосновании норматива было показано, что при таком содержании как неорганических, так и органических веществ (в пересчете на металл) обеспечивается предотвращение загрязнения почвенных вод и атмосферного воздуха, удовлетворительно протекают процессы самоочищения почвы и не происходит накопления ощутимых количеств металла в сельскохозяйственной продукции.

Ртуть относится к числу контролируемых элементов в пищевых продуктах. Временные гигиенические нормативы содержания ртути находятся на следующих уровнях, мг/кг: соки, молочные продукты — 0,005; фрукты, зерно, хлеб — 0,01; овощи — 0,02; мясные продукты — 0,03, рыбные продукты — 0,05. Величина допустимого содержания ртути в рыбных продуктах обусловлена наблюдающимся в естественных условиях накоплением металла преимущественно в органической форме. В продуктах «суши» наличие органических форм ртути не допускается, ввиду большей токсичности последних. ПДК_{а.в} органических соединений ртути (ОСР) не установлена. По данным К. А. Буштуевой и др. [21], диэтилртуть в концентрации 0,00036 мг/м³ при круглосуточном воздействии не оказывает вредного действия на организм экспериментальных животных.

В ГДР на основе рекомендации ФАО/ВОЗ, допускающей поступление с пищей 0,3 мг ртути в неделю при условии, что поступление ОСР не превышает 0,2 мг, определены допустимые количества ртути в 38 продуктах, загрязнение которых наиболее вероятно. Для продуктов детского питания (молочные смеси и консервы) содержание ртути определено в пределах 0,02—0,05 мг/кг.

В ряде зарубежных стран регламентируется содержание ртути в сточных водах. Так, в Индии содержание ртути в сточных водах должно быть менее 0,01 мг/дм³, в Италии — ниже 0,005 мг/дм³. Комиссией ЕЭС на 1989 г. утвержден норматив эмиссии ртути с хлорных производств на уровне 0,5 г/т хлора, что в 2 раза ниже норматива 1986 г. и в 3 раза ниже норматива 1983 г. Австралийский стандарт на детские игрушки (№ 1647, ч. 3, 1980) устанавливает максимальный предел содержания ртути в доступных покрытиях игрушек, равный 0,01%.

В качестве допустимого содержания ртути в отходящих газах ВОЗ рекомендует 15 мг/м³. Эта величина в законодательном порядке принята в Японии.

Учитывая возможную роль косметики как фактора повышенного поступления ртути в организм предпринята попытка расчетного регламентирования предельного содержания ртути в растворимой части зубной пасты (3 мг/кг), губной помаде (10 мг/кг) и тенях (40 мг/кг). Признано, что норматив 40 мг/кг может быть рекомендован для кожных кремов, регламентировать же содержание ртути в мыле и косметических изделиях, контактирующих с кожей короткое время и смываемых, не обязательно.

Обеспечение гигиенических стандартов содержания химических элементов в окружающей среде предохраняет от накопления их в организме человека или критических органах свыше допустимого уровня. Согласно работе [110], *допустимый уровень* (ДУ) — это такое количество вещества в организме или критическом органе, которое при постоянном его содержании не вызывает изменений в состоянии здоровья человека, обнаруживаемых современными методами исследования. В цифровом выражении для элементов таблицы Менделеева допустимый уровень равен верхней границе нормы. Допустимое накопление элементов отражает максимально допустимую нагрузку за счет загрязнения ими окружающей среды. *Критический уровень* (КУ) — это такое количество элемента в биосредах организма, которое сопутствует гигиенически значимым сдвигам в организме. Обычно КУ в 1,5—3 раза превышает ДУ. Б. А. Ревич [110] приводит следующие значения ДУ и КУ ртути и метилртути в моче и крови: ДУ ртути в моче для профессиональной экспозиции паров — 10 мкг/дм³, КУ в моче — 50—100 мкг/дм³, КУ в крови — 1—2 мкг/100 мл; ДУ метилртути в крови — 2 мкг/100 мл, КУ — 20—40 мкг/100 мл, КУ в моче — 50—60 мкг/дм³.

6. ОХРАНА ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РТУТЬЮ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЯМИ

Задача защиты окружающей среды от химического загрязнения должна решаться в первую очередь путем рационализации технологических процессов перера-

ботки сырья, синтеза новых веществ и последующего применения продуктов химического производства, направленных на исключение поступления токсичных веществ в окружающую среду.

Применительно ко ртути значимость мероприятий по охране природы определяется двумя следующими факторами:

1) 80—90 % всей ртути, используемой в народном хозяйстве, участвует в необратимых процессах, при которых она, в конечном счете, в той или иной форме поступает во внешнюю среду;

2) практические возможности, которыми в настоящее время располагает техника, не могут пока обеспечить связывание и нейтрализацию ртути, находящуюся в воде, воздухе и почве.

Наиболее рациональным мероприятием по предотвращению загрязнения ртутью и ее соединениями биосферы является максимально возможное ограничение использования ртути в народном хозяйстве. Это позволяет сократить:

- потери ртути при производстве металла;
- потери ртути при транспортировке и применении;
- общее количество объектов промышленного и особенно непромышленного характера, применение ртути на которых сопровождается загрязнением воздуха, строительных конструкций, водоемов и почвы;

- количество лиц, соприкасающихся со ртутью и ее соединениями в производственных условиях.

В некоторых странах наметилась тенденция сокращения потребления ртути. Так, в Японии потребление ртути менее чем за десятилетие, начиная с 1967 г., снизилось в целом с 1855 до 579 т, в том числе в производстве хлора и щелочи более чем в 2 раза, а в производстве катализаторов — с 491 до 1,4 т. В настоящее время в Японии полностью прекращено использование ртути в производстве пигментов и сельскохозяйственных химикатов. Использование ртути в целлюлозно-бумажной промышленности и сельском хозяйстве США сократилось с 182 т в 1959 г. до 21 т в 1966 г., а с 1968 г. прекращено. В результате мер по сокращению использования ртутьорганических соединений мировое использование фунгицидов в сельском хозяйстве сократилось с 2100 т в 1965 г. до 1000 т в 1971 г. В 1965 г. по рекомендации Шведского института защиты растений добавки ртути

в составе сельскохозяйственных химикатов были уменьшены на 50 %.

В ряде работ [38, 46, 85, 129] описаны многочисленные варианты исключения ртути из сферы промышленного и непромышленного применения. Вместо содержащих ртуть соединений в красках для защиты судов от обрастания целесообразно применять олово- и свинецорганические соединения, которые отличаются способностью к детоксикации в водной среде под влиянием кислорода, уголекислоты, ультрафиолетовых лучей [32].

Недопустимо расширение сферы применения новых ртутьсодержащих соединений в промышленных материалах. Так, высокая токсичность группы производных бис-(тринитрометил)-ртути не позволила использовать их в качестве лекарственных антисептиков. Снижение содержания ртути в электролитической щелочи положительно сказалось на условиях труда рабочих начальных участков производства вискозы. Проводятся исследования по снижению содержания ртути в серной кислоте, что существенно как с точки зрения оздоровления условий труда, так и охраны природы при последующем применении кислоты. С. В. Отнелеченко и др. [101] обратили внимание на возросшую остроту проблем десульфурации углей и уменьшения тем самым поступления в окружающую среду связанных с серой токсичных элементов, в том числе и ртути. Поскольку 70—80 % серы и ртути в углях связано с пиритом, то снижение содержания пирита в углях в процессе их обогащения не только снизит экономический ущерб, наносимый промышленностью (по коксохимическим заводам Донбасса только от потери ртути экономический ущерб с учетом экологического фактора составляет 1,5 млн р./год), но и окажет благотворное влияние на окружающую среду.

Положительный гигиенический эффект может оказывать использование вместо ртути равноценных в технологическом отношении, но менее летучих и растворимых в воде ее соединений или сплавов, например использование амальгамы вместо ртути в производстве люминесцентных ламп.

Эффективным мероприятием мог бы быть синтез и последующее использование таких ртутьорганических соединений, которые были бы чувствительны к окислению и воздействию солнечных лучей и после употребления распадались бы в окружающей среде на безвредные метабо-

литы. Применение фенилртутных производных менее опасно с экологических соображений, потому что прямое превращение их в метилпроизводные ртути в окружающей среде — редко встречающийся процесс.

Пример Швеции свидетельствует о высоком гигиеническом эффекте такого, в частности, мероприятия, как использование в сельском хозяйстве значительно менее

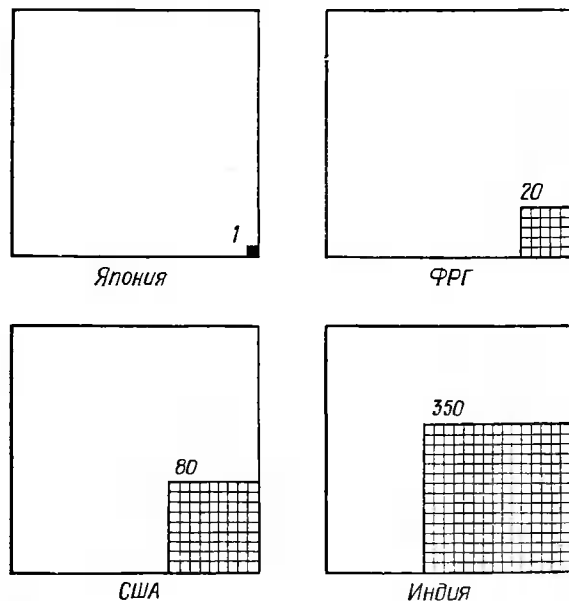


Рис. 11. Потери ртути в производстве хлора и электролитической щелочи (по данным зарубежных стран)

стабильных алкоксиалкилртутных соединений вместо алкилртутных: начиная с 1966 г. содержание ртути в теле птиц начало снижаться, а численность птиц увеличиваться [211].

На рис. 11 показано, какими резервами располагают технология и техника для предотвращения поступления ртути в окружающую среду. Потери ртути в производстве хлора и электролитической щелочи на предприятиях Японии приняты за единицу. Общие потери ртути на хлорных заводах Индии составляют 170 г/т.

6.1. Общая характеристика методов определения ртути в объектах окружающей среды

В последнее время в области аналитической химии ртути наметились следующие основные тенденции:

1) переход от классических химических (колориметрических, нефелометрических) методов анализа к современным инструментальным физико-химическим и физическим методам;

2) повышение чувствительности и избирательности метода при сокращении длительности проведения анализа;

3) разработка методов исследования, позволяющих сохранять нативное состояние или незначительно изменять анализируемую пробу (образец); анализировать (после специальной подготовки) на содержание ртути разнообразные объекты окружающей среды (воздух, воду, почву, продукты питания) и биологический материал (кровь, мочу, волосы, ногти, ткани тела); обеспечить раздельное определение органических и неорганических соединений ртути.

В наиболее полной мере эти тенденции воплотились при определении ртути в абсорбционной спектрофотометрии и нейтронной активации и при определении ртутьорганических соединений методами газовой хроматографии [37, 45, 61].

Основной в пятидесятых-шестидесятых годах *дитионовый метод*, который был приспособлен практически ко всем средам (воздух, природные, питьевая и сточные воды, почва, продукты питания, ткани), трудоемок (требует предшествующего разрушения органических веществ), недостаточно избирателен (избирательность на ртуть обеспечивают регулировкой условий экстракции ртути и колориметрирования) и недостаточно чувствителен (в сравнении с атомно-абсорбционным методом).

Чувствительность и точность метода повышаются при помощи отделения свежевосстановленной ртути азацией и концентрирования ее в небольшом объеме поглотительного раствора, который используют уже для анализа дитионовым способом [82]. Это придало методу универсальности и обусловило его широкое использование в практике. Однако и в таком (улучшенном) варианте он неконкурентоспособен с инструментальными методами.

Атомно-абсорбционный метод, имеющий ряд модификаций в зависимости от способа обработки исследуемого материала (мокрое озоление или сжигание в трубке органического вещества почв и биологического материала, концентрирование из воды экстракцией дитизоном, электроосаждением или амальгамированием на серебряной проволоке и т. д.), также не лишен недостатков. Хотя определение ртути носит объективный характер и чувствительность метода значительно выше [30], однако атомно-абсорбционные методы подвержены влиянию помех со стороны веществ (бензол, ароматические углеводороды), сильно поглощающих ультрафиолетовые лучи в диапазоне 253,7 нм.

Нейтронно-активационный метод базируется на принципе, по которому естественная Hg (ртуть стабильных изотопов) облучается нейтронами, переводится в смесь радиоактивных изотопов, основными из которых являются ^{197}Hg и ^{203}Hg , периоды полураспада которых составляют 65 ч и 47 сут соответственно. После облучения образца нейтронами добавляют точную навеску Hg-носителя и с целью разрушения органических веществ подвергают образец химическому воздействию. После разложения ртуть выделяют электролизом на золотой фольге и определяют радиоактивность с помощью γ -счетчика. Применение Hg-носителя вносит поправку на любые потери ртути во время процессов химического воздействия, экстракции и выделения. Предел обнаружения ртути 0,1—0,3 нг. Размер образца (0,3 г) дает пределы концентрирования в большинстве биологических образцов приблизительно 0,3—1 мкг/кг. Относительное стандартное отклонение в образцах рыб, минералов, масел, крови и воды — менее 10 %.

Отметим, что при использовании нейтронно-активационного метода возникают три основных вопроса:

а) разрушать или не разрушать образец (разрушение и выделение Hg обычно требуется для образцов, содержащих менее 1 мкг ртути);

б) выбор изотопа ^{197}Hg (при использовании более долгоживущего изотопа ^{203}Hg образцу нужно дать постоять во избежание помех от элементов с более коротким периодом полураспада, которые также активизируются одновременно со ртутью; однако для достижения той же активности, что у ^{197}Hg , для ^{203}Hg необходим более ин-

тенсивный нейтронный поток или более длительный период облучения);

в) выбор детектора: детектор иодисто-натриевый (талливый) не имеет такой высокой разрешающей способности, как германиевый (литиевый), хотя его чувствительность значительно выше. Помехи могут вызываться следующими элементами, образующимися одновременно с радиоактивными изотопами ртути: ^{24}Na , ^{82}Br , ^{32}P и ^{75}Se . Этого можно избежать при помощи химического выделения радиоактивных изотопов. Однако ^{75}Se при этом удаляется не полностью и будет мешать, если использовать NaJ (Tl)-детектор. Более высокая разрешающая способность Ge (Li)-детектора позволяет вносить поправку на помехи со стороны ^{75}Se благодаря использованию других линий спектра ^{75}Se . Для образцов, содержащих более 1 мкг ртути, необходимую избирательность можно достичь без разрушения образца с помощью инструментального анализа.

Одним из процессов является измерение изотопа ^{203}Hg после того, как образцу дают отстояться в течение одного месяца во избежание помех, вызываемых радиоактивными изотопами Na, P и Br. Следующий способ заключается в использовании Ge (Li)-детектора, когда γ -облучение с радиоактивного изотопа можно определить исключением основной части препятствующей проникновению радиации.

По сравнению с другими методами нейтронно-активационный имеет следующие преимущества: высокую чувствительность (приблизительно 0,5 мкг/кг); отсутствие значения холостого опыта; независимость от химической формы элемента; сохранение образцов, содержащих 1 мкг ртути и более. К недостаткам следует отнести то, что его нельзя использовать в полевых условиях и в случае больших количеств образцов необходимы специальное оборудование и обработка данных. Нейтронно-активационный метод применяют в качестве эталонного метода, по которому проверяют другие методы.

Ряд инструментальных методов, таких как рентгенофлуоресцентный, масс-спектральный и атомно-флуоресцентный для измерения общего содержания ртути, рассмотрен в работе [37]. В принципе некоторые из этих методов могут оказаться более чувствительными или избирательными на ртуть, но в настоящее время они еще не

нашли широкого применения для определения ртути в образцах окружающей среды.

Таким образом, предпочтительным является все-таки атомно-адсорбционный метод. Однако нет ни одного универсального, пригодного для всех случаев, метода. Методы анализа образцов зависят от конкретного анализируемого и биологического материала.

Существуют три метода идентификации алкилртутных соединений: бумажная хроматография, тонкослойная хроматография и газожидкостная хроматография.

Анализ пищевых продуктов, почв и биологических материалов можно подразделить на следующие стадии: гомогенизирование образца; подкисление с помощью галогеноводородной кислоты с последующей экстракцией растворителем (обычно бензол); очистка, связанная с превращением ртутьорганических соединений в растворимое в воде соединение (обычно гидроксид или сульфат, или цистеиновый комплекс) и повторная экстракция бензолом. Только после этого бензольный слой будет готов для качественного тонкослойно-хроматографического анализа или газожидкостной хроматографии (ГЖХ), а в случае необходимости — количественного анализа. Аналогичная процедура имеет место при определении низших алкилртутных солей в трупном материале при судебно-химическом анализе.

Для учета потерь при минерализации было предложено добавлять следовое количество радиоактивной меченой метилртути в гомогенат и считать конечный бензольный экстракт с целью проверки эффективности экстракции.

Санитарный контроль воздуха рабочей зоны должен обеспечивать, во-первых, непрерывность контроля, во-вторых, применение экспрессных методов, в-третьих, получение информации не столько о содержании ртути в воздухе, сколько об общей ее дозе, поглощенной организмом человека в течение рабочего дня. Непрерывность контроля может быть достигнута, в частности, с помощью прибора ИКРП в различных модификациях. Продолжают совершенствоваться экспрессные методы определения концентрации паров ртути в воздухе.

С целью более точного определения средневзвешенной по времени концентрации ртути в воздухе, что необходимо, в частности, для установления корреляции между ней и содержанием ртути в моче, разработан индиви-

дуальный пробоотборник, изготовленный из тонких нитей серебра, амальгамируемых парами ртути. При последующем извлечении ртути из амальгамы и ее количественном определении исследователь получает возможность косвенно определять ту дозу, которая могла бы поступить в организм человека, и сопоставлять контингенты работающих, разнящихся по условиям поступления ртути.

Описаны конструкция и принцип работы индивидуального дозиметрического прибора (ДП), чувствительным элементом которого является тонкая золотая фольга, на которой сорбируются пары ртути, находящиеся в воздухе. Количества адсорбированной ртути определяются по изменению электропроводности фольги. Показаны влияние температуры среды, скорости перемещения ДП в атмосфере, содержащей пары ртути, посторонних примесей (H_2S , SO_2 , Cl_2) на точность и воспроизводимость результатов.

Учитывая трудности анализа при одновременном наличии в воздухе паров и аэрозолей (такое сочетание особенно реально для органических соединений ртути, но и при работах со ртутью возможно наличие ее неорганических соединений), разработана лента СФЛ-Р-50 и фильтры АФАС-Р для извлечения из воздуха паров и аэрозолей, содержащих ртуть [17].

Метод атомной абсорбции с помощью анализатора АГРФ (высокая чувствительность, быстрота и простота, погрешность до 25 %) относительно эффективен при определении концентрации паров ртути в интервале 10^{-2} — 10^{-3} мг/м³, что позволяет использовать его для анализа воздуха промышленной площадки [45].

Также разработан простой улавливатель паров ртути (пленка иода в иодиде калия, нанесенная на стеклянную крупку размером 2—3 мм), удобный при работе в полевых условиях.

За последние годы расширились возможности аналитики в области исследования воды и почвы [98, 99], в том числе раздельного определения органических и неорганических соединений с помощью хроматографии [61]. Необходимо учитывать возможность потерь ртути из проб воды при хранении, что особенно важно при определении микроколичеств веществ [30].

Особое внимание обращается на обработку проб перед анализом для максимального извлечения и сокращения

потерь ртути при анализе, а также на качественную подготовку лабораторной посуды.

Способность накопления отдельными видами грибов и дрожжей значительных количеств ртути из воздуха и этилмеркурхлорида из водной среды можно использовать в целях санитарного контроля. Отмечена также хорошая корреляция логарифмов среднеарифметического содержания ртути в лишайниках и среднегеометрических концентраций ртути в атмосфере [199]. Сопоставление содержания ртути в листьях растений и гумусе (перегное листьев) позволяет оценивать динамику загрязнения окружающей среды [207].

В последнее время наряду с традиционными методами контроля состояния окружающей среды (анализ проб отдельных элементов) получил развитие принципиально новый подход, основанный на получении целостного представления о влиянии антропогенных выбросов на геохимический фон ртути в окружающей среде [5].

Таким образом, необходимо отметить существенный прогресс в области аналитической химии ртути, вооружившей промышленность, органы гидрометеослужбы, санитарного и ветеринарного надзора и лабораторий по контролю остаточных количеств ядохимикатов современными, специфическими, высокочувствительными методами определения ртути (в наиболее распространенных формах) в объектах окружающей среды. В то же время приобретает большую актуальность разработка методов анализа, позволяющих раздельно определять различные токсичные формы ртути. Так, например, вода, содержащая стабильные комплексы меди и свинца, менее токсична, чем вода, содержащая те же количества меди и свинца в ионной форме. На основании приведенных выше данных правомерно сделать вывод, что гигиеническая оценка результата анализа объектов внешней среды на общее количество ртути затруднительна и может привести к ошибочным заключениям, поэтому целесообразно сочетать анализ на общее количество ртути и ее неорганические соединения путем атомной адсорбции и селективный анализ на органические соединения ртути газовой хроматографией. Определенным шагом в этом направлении явилась разработка метода селективного выделения из воздуха в процессе отбора пробы паров HgCl_2 , CH_3HgCl , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ и Hg^0 путем использования ловушек, содержащих «специфические» сорбенты.

6.2. Предупреждение загрязнения ртутью пищевых продуктов

По данным работы [140], уровень остаточной ртути в продуктах растительного происхождения весьма низкий и, как правило, не превышает 0,075 мг/кг, а содержание органических соединений ртути, обнаруженное в рыбе, поступающей в торговую сеть, обуславливает поступление в организм взрослого человека дозы в 35—6 раз меньше допущенной ФАО/ВОЗ. Отсюда можно прийти к выводу, что с позиции охраны здоровья человека сегодня большую опасность представляют случайное загрязнение органическими соединениями ртути зерна и преимущественное питание отдельных групп населения ряда стран загрязненными ртутью продуктами моря.

Реальную опасность представляет применение городских сточных вод и ила для орошения и удобрения полей, на которых выращивается сельскохозяйственная продукция. Со сточными водами города с населением 1 млн человек ежегодно выносятся 200—400 кг ртути, что, например, для населения США составляет 40—80 т в год. Ил может долго сохранять ртуть, количество которой составляет 6—20 мг/кг. Прокаливание ила в подовых печах, что обеспечивает уменьшение его массы, может сопровождаться, кроме того, поступлением ртути в атмосферу.

Радикальные меры по охране внешней среды должны быть дополнены паллиативными мерами по уменьшению содержания ртути в процессе кулинарной обработки используемых в пищу продуктов. Так, в процессе варки в воде или на пару содержание ртути в мясе тунцовых снижается примерно на 22 %, а при варке в рассоле — только на 8 %. Из концентрата рыбного белка (КРБ), идущего на корм цыплятам, ртуть (неорганические соединения и метилртуть) удаляли путем восстановления NaBH_4 в щелочной среде. Авторы работы [155] считают, что при избытке NaBH_4 можно достигнуть 100 %-го освобождения КРБ от ртути (образующийся при этом ион метабората может быть отмыт водой).

Возможность метаболической детоксикации соединений ртути в организме животных тиосульфитом натрия, резко подавляющим степень материальной кумуляции ртутьсодержащих веществ и способствующим их выведению из организма, подтверждается результатами, полу-

ченными во Всесоюзном научно-исследовательском институте ветеринарной санитарии, которые показали, что он эффективен при дезинтоксикации как органических, так и неорганических производных ртути, по-видимому, вследствие образования в пищевом канале животных слабо усвояемых комплексов ртути или комплексных анионов с высокой константой нестойкости. Это усиливает степень фильтрации и выделения ртутных соединений с мочой.

В то же время промывание мяса меч-рыбы и кашалота, снижая количество водорастворимых белков (саркоплазматических и миоглобина), содержащих малые количества ртути, приводит к увеличению содержания ртути в сухом остатке за счет роста удельного веса миофибриллярных белков, содержащих большее количество ртути. Из молока (особенно обезжиренного) удаляется 70% примесной ртути при помощи тиосульфата натрия. В связи с переходом ртути из муки китового мяса (МКМ) в ткань и яйца питающихся этой мукой кур установлены допустимые количества добавок МКМ в корм мясных кур и кур-несушек (соответственно 2% и 1%) и способ обработки МКМ, направленный на снижение содержания ртути.

Рассмотрим некоторые практические рекомендации, направленные на усиление контроля за предотвращением загрязнения ртутью продуктов питания, в частности животного происхождения. Это, во-первых, дальнейшее совершенствование разработки и внедрения гигиенических нормативов содержания в пищевых продуктах «приоритетных», т. е. подлежащих первоочередному контролю, химических элементов, среди которых наряду с кадмием, свинцом и мышьяком значится ртуть. Во-вторых, это систематический контроль фактического содержания указанных веществ, в том числе ртутных соединений, в органах и тканях животных, выращенных в естественных условиях вблизи источников загрязнения окружающей среды техногенными промышленными веществами [135]. В-третьих, это изучение влияния тепловой (кулинарной) обработки, а также технологических процессов при производстве мясoproductов на уровень содержания в них исследуемых веществ [137]. В-четвертых, это разработка чувствительных методов прижизненного определения техногенных металлов, в том числе ртути, в органах-депо и в основных товарных продуктах. Наконец, это дальнейшее изучение возможности использования анализа шерсти и крови для решения вопроса о длитель-

ности поступления ртутьорганических соединений в организм животных в случае скармливания им кормов, содержащих ртуть в количествах, превышающих гигиенические нормативы.

Особо отметим, что в последние годы именно с указанных выше позиций в целях разработки эффективных практических рекомендаций был выполнен ряд научно-исследовательских работ по изучению накопления и миграции ртутьсодержащих соединений в биологической цепи вода — почва — растения — животное, по прижизненному определению в органах и тканях животных и анализу фактического содержания в их организме и в кормах ртутьсодержащих соединений [22, 41, 44, 122]. По данным, полученным в результате этих исследований, можно заключить, что накопление ртути так же, как и свинца и кадмия, в органах и тканях крупного рогатого скота 5—6-летнего возраста зависит от промышленной загруженности зоны, где выращены животные. При этом фактическое содержание соединений ртути в органах превышало гигиенические нормативы. Так, при определении содержания ртути в органах и тканях овец, выращенных в Марийской АССР, И. П. Цвирко [135] установил следующее:

1) содержание ртути в теле овец снижается в ряду почки — печень — мышечная ткань — жировая ткань;

2) наблюдается высокая корреляция между содержанием ртути в почках (орган-накопитель), мышечной ткани (основной товарный продукт) и ее содержанием в шерсти. В естественных условиях содержание ртути в шерсти, почках и мышцах относится как 100:60:30, что позволяет оценить содержание ртути в мясе и почках овец по содержанию ртути в шерсти;

3) посегментное определение ртути в шерсти овец (1 см соответствует 1 мес.) позволяет ретроспективно датировать время повышенного поступления ртути в организм овец с пищей;

4) при введении овцам этилртути содержание ртути в жировых прослойках мускулатуры в 1,5—2,5 раза выше, чем непосредственно в мышечной ткани;

5) при термической обработке (жарении) содержание ртути снижается примерно на 25% и тем больше, чем на более мелкие кусочки размельчено мясо.

Анализ фактических данных и биологической трансформации ртутьсодержащих соединений, теоретические

обобщения, сделанные на основе этого анализа, и практические рекомендации разнообразны по своему содержанию. В наиболее общей форме они сводятся к тому, что в экологическом аспекте проблему накопления ртути в живых организмах следует изучать только в системе окружающая среда — биологический объект с учетом ряда наиболее выраженных негативных факторов, а также комбинированного действия химических элементов. Делается вывод о недопустимости применения химических соединений, используемых в качестве пестицидов и способных накапливаться в организме. В то же время выдвигается положение о том, что непрерывный рост химизации сельского хозяйства, с одной стороны, и негативное влияние остаточных количеств пестицидов (в том числе ртутьсодержащих) на различные объекты экосистемы, с другой, диктуют необходимость развития нового эколого-экономического направления в науке для обеспечения рентабельности сельскохозяйственного производства и охраны окружающей среды.

Учитывая накопление ртутьсодержащих соединений в органах и тканях крупного рогатого скота в количествах, превышающих максимально допустимые уровни, рекомендуется проводить выборочное определение ртути в органах и тканях крупного рогатого скота из хозяйств, являющихся основными поставщиками продукции, а полученную информацию передавать органам санитарного и ветеринарного надзора. Подобный выборочный контроль способствует определению и устранению антропогенных источников выбросов ртутьорганических соединений. В случае обнаружения в мясе и субпродуктах тяжелых металлов, в том числе ртути, в количествах, превышающих допустимые остаточные количества, следует запрещать поступление такого сырья в реализацию для детских и лечебных учреждений. Кроме того, следует либо ограничить применение мясного сырья с повышенным содержанием соединений металлов, либо уменьшить их количество путем смешения (подсортировки).

6.3. Очистка от ртути промышленных сточных вод и вентиляционных выбросов

В связи с тем что в настоящее время полностью отказаться от применения ртути невозможно, особое внимание уделяется разработке процессов, исключаящих попада-

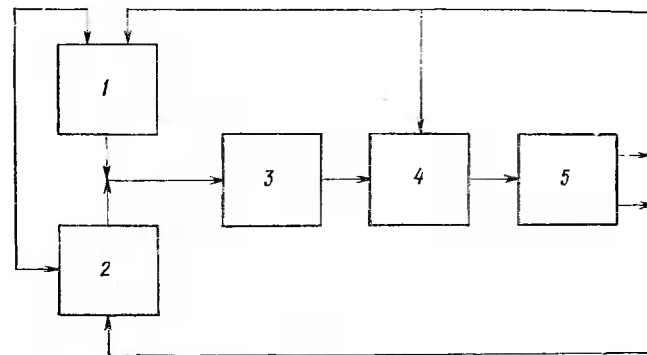


Рис. 12. Принципиальная схема бессточного производства хлора и электролитической щелочи:

1 — отделение электролиза и получения товарных продуктов; 2 — приготовление и очистка рассола (электролита); 3 — сборник ртутьсодержащих сточных вод; 4 — ионообменная установка очистки сточных вод от ртути; 5 — установка термического опреснения

ние ртути в окружающую среду (безотходные производства), а также разработке процессов глубокой очистки промышленных выбросов от ртути. Первым шагом к безотходному производству является бессточное производство (рис. 12).

За исключением тех случаев, когда ртуть является неотъемлемым составляющим компонентом готовой продукции или изделия (пестициды, медицинские препараты, источники тока, электровакуумные приборы) и в технологическом процессе практически полностью теряется, обычно происходит частичное попадание ее в готовую продукцию, а также в отходы производства (последние могут быть как в твердом виде, так и в жидком и газообразном).

Учитывая возможность попадания ртути потребителям с готовой продукцией, содержание ее ограничивается стандартами или техническими условиями на очень низком, безопасном уровне.

Твердые отходы — это чаще всего шламы или осадки, образующиеся в основной технологии или при вспомогательных процессах, а также отработанные катализаторы, электроды, химические поглотители или сорбенты, применяющиеся для улавливания ртути.

Жидкие отходы — это обычно сточные воды, образующиеся в результате утечек технологических растворов из

аппаратов и коммуникаций, отработанные технологические растворы, сбросные воды и демеркуризационные растворы после промывки оборудования, полов, строительных конструкций, отработанных изделий и материалов.

Газообразные отходы — это образующиеся в производстве водород и кислород, инертные газы, применяющиеся для продувки аппаратов, демеркуризации и дегазации оборудования и отработанных изделий и материалов, регенерации и извлечения ртути из сорбентов, отходов производства и руды, воздух, азот, дымовые газы, пар и другие, а также вентиляционный воздух производственных помещений.

Рассмотрим санитарные методы очистки или улавливания ртути, т. е. методы, направленные на предотвращение попадания ртути в окружающую среду. Извлечение ртути из твердых отходов, шламов, осадков, сорбентов осуществляется обычно централизованно или в небольших масштабах на самих производствах термическим методом, при котором ртуть переводится в газообразную фазу, либо химическим, в результате которого ртуть переходит в раствор. Демеркуризация оборудования, а также отработанных узлов и деталей аппаратов также осуществляется термическим или химическим методом с переводом ртути в газообразную или жидкую фазу [10, 20].

Таким образом, улавливание ртути из многочисленных отходов может быть сведено к извлечению ее из жидких или газообразных сред. Основными природоохранными мероприятиями в промышленной практике являются локальные установки по очистке сточных вод и газовых выбросов от ртути.

В силу разнообразия технологических процессов использования ртути и специфических условий формирования сточных вод количество и состав последних резко отличаются не только для разных производств, но и крайне непостоянны во времени и для одного и того же производства. Особенностью сточных вод потребляющих ртуть производств является также разнообразие форм нахождения в них ртути.

Ртуть в сточных водах может находиться в элементарном состоянии в виде металла, а также в одно- и двухвалентном элементарном состоянии в различных соединениях — как растворимых, так и плохо или практически нерастворимых. Кроме того, в сточных водах могут при-

существовать различные соли, кислоты или основания, органические вещества, а также нерастворимые соединения — осадки.

Специфика поведения ртути требует индивидуального подхода к выделению той или иной ее формы. С учетом этого все методы очистки можно разделить на две группы:

1. Методы, основанные на восстановлении ртути до элементарного состояния и выделения ее в виде металла.

2. Методы, основанные на окислении ртути и выделении двухвалентной ртути.

Методы первой группы различаются по способу восстановления ртути. Наиболее распространенными являются электрохимическое восстановление, восстановление металлами, а также органическими и неорганическими восстановителями.

Прямой *электрохимический метод* восстановления ртути целесообразно применять лишь для растворов, содержащих значительные концентрации ртути. Это растворы, используемые в производстве солей, а также регенерационные или поглотительные растворы процессов очистки газов или сточных вод от ртути. В этих случаях процесс может протекать в одну стадию с приемлемой скоростью.

Непосредственное электрохимическое восстановление ртути из сточных вод из-за низкой концентрации ртути и диффузионных ограничений идет неудовлетворительно. Интенсификация метода возможна лишь путем предварительного концентрирования ртути или значительного увеличения поверхности электродов. Поскольку возможности увеличения электродов ограничены, электрохимическое восстановление применяют как завершающую стадию выделения ртути из растворов, в которых ртуть предварительно сконцентрирована другими методами.

Преимуществом электрохимического метода является возможность получения ртути в товарной форме в виде металла. Однако возможности этого метода ограничены как степенью очистки, которая находится на уровне десятых долей миллиграмма, так и необходимостью предварительного концентрирования ртути. Кроме того, специфика стоков в каждом конкретном случае определяет особые требования к конструкции электролизера. Вследствие этого электрохимический метод промышленного распространения не получил.

Восстановление ртути металлами основано на электрохимическом вытеснении ее из солей более электроотрицательным металлом. При этом в раствор переходит эквивалентное количество цементирующего металла (в качестве электроотрицательных металлов используют алюминий, железо, медь). Скорость процесса ограничивается диффузией ртути к поверхности металла и площадью этой поверхности. Для устранения этих ограничений используют аппараты колонного типа, заполненные насадкой (стружкой, опилками) из соответствующего металла. В процессе эксплуатации происходит забивка аппарата гидроксидами металлов и малоподвижной амальгамой. Промышленного применения метод не нашел.

Указанных недостатков лишен метод восстановления органическими и неорганическими соединениями. Поскольку реакция в этом случае является гомогенной, ее осуществляют в реакторе с мешалкой. В результате восстановления обычно образуется мелкодисперсная металлическая ртуть, отделение которой от водной среды довольно сложная задача. В качестве восстановителей используют муравьиную кислоту, альдегиды, хлорид олова (II). Однако их применение ограничивается в основном препаративными целями и аналитическими работами.

Для очистки сточных вод рекомендуется использовать полисахариды, гидразин, боргидрид натрия. Восстановленную ртуть отделяют отстоем в присутствии флокулянтов или в гидроциклоне с последующей тонкой фильтрацией. Имеются также данные о получении мелкодисперсной и коллоидной ртути многостадийной перегонкой с выделением ртути из водного конденсата, отдувкой водородом или инертным газом.

Восстановительные методы имеют теоретически обусловленный предел очистки, определяемый величиной растворимости металлической ртути в водных растворах $0,03\text{--}0,08\text{ мг/дм}^3$. Поэтому восстановительные методы не обеспечивают высокую степень санитарной очистки — до $0,0005\text{ мг/дм}^3$. Кроме того, образующаяся в процессе восстановления мелкодисперсная металлическая ртуть улетучивается из раствора в воздух, что требует тщательной герметизации оборудования, а для извлечения ее требуется специальное фильтрационное оборудование. Поэтому восстановительный метод не получил промышленного распространения.

В группу методов, основанных на извлечении окисленной ртути из сточных вод, входят методы, основанные на осаждении ртути и на сорбции ее.

Ввиду склонности ртути к комплексообразованию труднорастворимые соединения ртути при избытке иона-осадителя в большинстве случаев образуют хорошо растворимые комплексы. В связи с этим при использовании метода, основанного на осаждении ртути, принимаются меры для устранения избытка иона-осадителя либо точной дозировкой реактива, либо введением катионов другого металла, также образующего труднорастворимое соединение с реактивом и тем самым связывающего его избыток.

Другим препятствием при отделении осадков ртути является их способность образовывать устойчивые золи, вплоть до различной визуальной твердой фазы, или осадки коллоидальной степени дисперсности. Этого можно избежать при введении флокулянтов или коагулянтов.

Наибольшее распространение в качестве осадителей двухвалентной ртути приобрели S^{2-} - и OH^- -ионы, дающие прочные химические соединения HgS и $Hg(OH)_2$, произведение растворимости которых составляет $1 \cdot 10^{-52}$ и $3 \cdot 10^{-26}$ соответственно.

Поскольку металлическая ртуть в тех или иных количествах всегда присутствует в сточных водах, реагентной или сорбционной стадии должна предшествовать стадия окисления ртути и перевода всех ее форм в двухвалентное состояние. Указанный процесс осуществляют обычно обработкой растворов гипохлоритом, хлором или озоном.

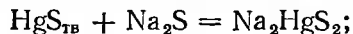
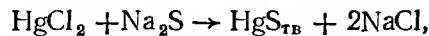
Вследствие большой растворимости гидроксильных соединений ртути осаждение ионами OH^- применяется в тех случаях, когда сточные воды содержат большие количества ртути и не требуется очень глубокая очистка.

Для снижения избытка OH^- -ионов вместо едкого натра используют известковое молоко $Ca(OH)_2$, как более дешевое и содержащее значительное количество взвесей, способствующих осаждению мелкодисперсного осадка.

Для осаждения ртути в виде ее сульфида используют гидросульфид или сульфид натрия, сероводород.

Сульфидный метод не обеспечивает достаточную глубину очистки, что объясняется следующими причинами:

1) избыток осадителя приводит к образованию растворимого комплексного соединения ртути



2) образованием коллоидов и малой скоростью перехода их в осадок в разбавленных по ртути растворах;
3) высокой дисперсностью осадка сульфида ртути;
4) присутствием в сточных водах металлической ртути, не вступающей во взаимодействие с сульфид-ионами, и производных одновалентной ртути, образующих с сульфид-ионами металлическую ртуть.

Для связывания сульфид-ионов и предотвращения образования растворимой тиосоли ртути добавляют сульфат железа (II), являющийся хорошим коллектором для мелкодисперсного сульфида ртути.

Учитывая замедленность образования осадка HgS , сточные воды после реагентной обработки осветляют в прудах-накопителях, длительный отстой в которых позволяет снизить содержание ртути в декантированной воде до $0,02\text{—}0,06 \text{ мг/дм}^3$.

Отсутствие площадей для сооружения больших отстойников объемом в сотни тысяч кубических метров, а также потери ртути со шламом, оседающим на дне бассейнов, привели к появлению варианта сульфидного метода с интенсифицированным отделением осадка в осветлителях непрерывного действия, с последующей фильтрацией на песчаных фильтрах. Из-за высокой дисперсности осадка содержание ртути в очищенной воде по этому варианту составляет $0,5\text{—}1,0 \text{ мг/дм}^3$.

Для более полного отделения осадка необходима дополнительная фильтрация на тканевых фильтрах с дополнительным фильтрующим слоем из древесной муки, перлита и др. В этом случае содержание ртути в очищенной воде снижается до $0,02\text{—}0,05 \text{ мг/дм}^3$. Для достижения содержания ртути в воде $0,005 \text{ мг/дм}^3$ отфильтрованные сточные воды дополнительно в течение суток отстаивают в баках-сборниках объемом по 200 м^3 . После отстоя вода перекачивается в бак-сборник объемом 5000 м^3 из которого периодически осуществляется сброс в открытый водоем. Громоздкость схемы, многостадийность процесса, трудность автоматизации и механизации его затрудняют эксплуатацию сульфидного метода очистки

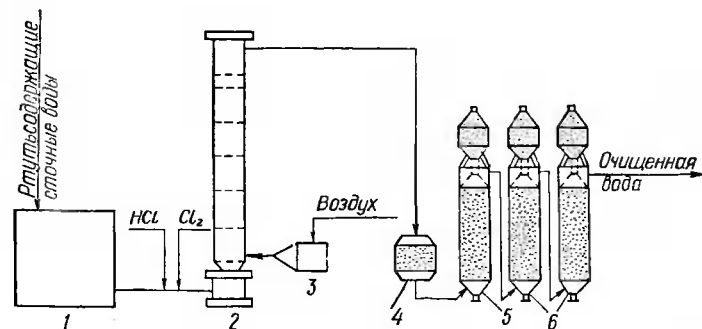


Рис. 13. Схема очистки сточных вод от ртути ионнообменным методом:

1 — сборник сточных вод; 2 — пульсационный хлоратор; 3 — пульсатор; 4 — песочный фильтр; 5 — угольный адсорбер; 6 — ионообменные адсорберы

с получением глубокой степени очистки. Поэтому эксплуатируемые в настоящее время установки обеспечивают очистку до десятых долей миллиграмма ртути на литр воды.

В последнее время широкое распространение начинают получать ионнообменные методы очистки сточных вод (рис. 13). Так, разработана схема очистки сточных вод смолой, содержащей соединение, концевые атомы которого замкнуты координационными связями. Установка мощностью $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ обеспечивает очистку сточных вод от ртути до $0,02 \text{ мг/дм}^3$.

Для извлечения ртути рекомендуется ионнообменное волокно МТИЛОН-Т, содержащее SH -группы. Сорбент обладает высокой селективностью и емкостью к ионам ртути.

Шведской фирмой «Billingforse» разработан метод очистки, названный «Q-процесс». Сточные воды, содержащие до 10 мг/дм^3 ртути, поступают в емкость, куда дозируют гипохлорит натрия и серную кислоту. Затем сточные воды фильтруют на песчаном фильтре и пропускают через адсорбер с активным углем для удаления избыточного хлора. Основная часть ртути (99 %) сорбируется в адсорбере, заполненном ионнообменной смолой Q-13, которая в последующем регенерируется соляной кислотой. Доочистка воды производится в адсорбере с ионнообменной смолой Q-sorb, из которой ртуть удаляется термическим способом.

Голландской фирмой «AKZO» разработан метод, гарантирующий высокую степень очистки. Он основан на поглощении ртути специальной ионообменной смолой Itak-TMR, представляющей собой полимерный меркаптан, в котором тиольные группы связаны с химически инертной матрицей. Полная обменная емкость смолы составляет 240 г ртути на 1 л сорбента. По этому методу сточные воды обрабатывают хлором или гипохлоритом, затем фильтруют через песчаные фильтры, обесхлоривают на угольном фильтре и подают в адсорберы для извлечения ртути смолой. Смола регенерируется соляной кислотой.

Существует также метод очистки с использованием пористого анионита ВП-1АП. Обменная емкость смолы при сорбции из производственных сточных вод, содержащих ртути около 30 мг/дм³, составила 400 г ртути на 1 кг сухой смолы. Пористая структура сорбента и его физико-химические свойства позволяют вести процесс при высоких линейных скоростях протекания раствора через адсорбер (до 50 м/ч), что обуславливает значительное уменьшение объема применяемой аппаратуры.

Таким образом, из эксплуатируемых в настоящее время методов можно выделить три основных, имеющих наибольшую распространенность в процессах очистки сточных вод от ртути.

1. Восстановительный метод. Возможный предел очистки сточных вод от ртути определяется ее растворимостью в воде — 0,03—0,08 мг/дм³. Практически же степень очистки находится на уровне 0,3—0,5 мг/дм³. Применение метода целесообразно для сточных вод, содержащих значительные количества ртути (граммовые), когда появляется возможность непосредственного выделения ее в металлическом виде. Схема усложнена необходимостью тонкой фильтрации и очистки образующихся в процессе газов от ртути.

2. Сульфидный метод. Принципиально возможна очистка до 0,005 мг/дм³. Практически достижение указанной величины сопряжено с большими трудностями и обычно достигаемая степень очистки находится на уровне 0,05—0,5 мг/дм³. Применение метода целесообразно в тех случаях, когда имеется возможность повторного использования сточных вод, либо разбавления их сточными водами других производств. Схема усложнена тонкой фильтрацией, необходимостью тщательной дозировки

реагентов и наличием большого количества емкостного оборудования.

3. Ионообменный метод. Принципиально возможна сколь угодно глубокая степень очистки. Практически указанным методом сточные воды очищают до 0,005 мг/л и ниже. Метод пригоден для очистки сточных вод перед сбросом в открытый водоем. Процесс характеризуется высокой стабильностью, не зависит от состава и количества поступающих на очистку сточных вод, легко автоматизируется и механизмуется, характеризуется низкими эксплуатационными затратами.

В последние годы внимание исследователей привлекли микробиологические методы очистки сточных вод от ртути и ее солей. Загрязняющие вещества при этом сорбируются микробной, дрожжевой биомассой или их смесью. Последующее извлечение ртути из биомассы осуществляется термическим методом, а инактивированная биомасса утрачивает способность к образованию органических соединений ртути. Биомассу, выращиваемую на уксусной кислоте или метаноле (бактерии), углеводах и углеводородах (дрожжи), предварительно адаптируют к солям ртути с тем, чтобы сточные воды не приводили ее к гибели. Содержание ртути в биомассе в эксперименте достигает 80—100 мг/г (сухой массы) и является максимальным при значениях pH, близких к слабо щелочным (7,7—7,9); при более высоких и более низких значениях pH среды содержание ртути в биомассе снижается до 25—50 мг/г (сухой массы).

Эффективным (эффект очистки составляет 99 %), доступным и недорогим средством извлечения ртути из сточных вод является также ксантогенат крахмала, который может быть использован как индивидуально, так и с катионным полимером. Соотношение ртуть/ксантогенат крахмала и время взаимодействия сточных вод с реагентом должны определяться для каждого конкретного случая применительно к составу и pH сточных вод.

Высокая летучесть ртути и ее соединений приводит к загрязнению контактирующих с ними газов и паров. В процессах производства и использования ртути образуется значительное количество газовых выбросов. При этом наряду с выделяющимися в результате реакций газами, как, например водород и кислород в электролитических процессах и реакционные газы в производствах винилхлорида и ацетальдегида, образуется также

множество сбросных газов — различные сдвухи, инерты, абгазы, газы печей термической регенерации ртути. Кроме этого, в указанных производствах вследствие вентиляции производственных помещений образуется большое количество вентиляционного воздуха.

Хотя абсолютное количество ртути, уносимой с газовыми выбросами, относительно невысоко, однако быстрое перемещение воздуха приводит к загрязнению не только промышленной зоны, но и к распространению ртути на большой территории.

Концентрация ртути в газе определяется главным образом его температурой. Наряду с парами ртути газы бывают загрязнены различными ее соединениями, в том числе пылевидными частицами и аэрозолями.

Методы очистки газов подразделяют на физический, химический и адсорбционный [121, 123].

Физический метод очистки газов от ртути основан на уменьшении упругости паров ртути при снижении температуры газа. Сконденсировавшаяся ртуть легко выводится из цикла, в результате чего отпадает необходимость в регенерации ртути. Однако для глубокой очистки газа (до $0,01 \text{ мг/м}^3$) необходимо охлаждение его до весьма низкой температуры (-45°C), что связано со значительными трудностями и затратами в получении глубокого холода. Очистка газа возможна и при более высокой температуре — в случае охлаждения предварительно сжатого газа. Правда, в этом случае появляется новая трудность — необходимость установки дополнительного компрессора и усиления прочности оборудования. Если очищенный таким образом газ не находит применения, а сбрасывается, то затраты, связанные с очисткой, по-видимому, неоправданы.

По этой причине, несмотря на простоту физического метода, отсутствие при его применении агрессивных растворов и отходов производства, он не получил промышленного распространения для глубокой очистки газов.

В то же время в качестве предварительной стадии очистки этот метод находит широкое применение. При этом охлаждение газа производят до температуры $5-15^\circ\text{C}$, что позволяет выделить основное количество ртути в товарном виде (до 90 %) и снизить нагрузку по ртути на установку доочистки.

Что касается использования физического метода для глубокой очистки, то это целесообразно в том случае,

когда очищенный газ находит применение, причем требуется газ высокого давления. Следует учесть, что при этом способе очистки газ будет сухим.

В промышленности широкое распространение получил *химический метод*, основанный на окислении ртути химическими реагентами — сильными окислителями с последующим переводом окисленной ртути в раствор.

Для глубокой очистки газов от ртути могут быть использованы растворы перманганата или дихромата калия. Несмотря на высокую эффективность этих окислителей, широкого распространения в промышленной практике они не нашли из-за высокой стоимости и дефицитности.

Для очистки газов от ртути может быть использован 20 %-ный раствор хлорида железа (III). Степень очистки при этом составляет 97—98 %. Степень очистки может быть повышена до 99,5 % при использовании соляно-кислого раствора хлорида железа (III). Глубина очистки в этом случае достигает $0,01-0,04 \text{ мг/м}^3$.

Наибольшее распространение получили растворы, содержащие хлор: хлорная вода, хлорный рассол, гипохлорит, хлорная известь. Последняя применяется как в твердом виде, так и в виде раствора. Степень очистки этим методом невысока и составляет около 90 %.

Более эффективно применение гипохлорита. Этот процесс осуществляют обычно в насадочной колонне, орошаемой щелочным раствором гипохлорита. Концентрация NaClO поддерживается при этом в пределах $0,04-50 \text{ г/л}$, NaCl — $40-140 \text{ г/л}$, pH 9—10,5, глубина очистки $0,01-0,05 \text{ мг/м}^3$.

Наиболее отработанным и надежным является метод очистки хлорной водой (хлорным рассолом), обеспечивающий глубину очистки $0,01-0,05 \text{ мг/м}^3$. К недостаткам метода следует отнести громоздкость установки, трудность управления процессом, образование большого количества поглощенных растворов, извлечение ртути из которых затруднено.

Адсорбционный метод очистки основан на поглощении паров ртути поверхностью сорбента. Емкость сорбента может быть повышена, если он дополнительно обработан веществами, способными образовывать соединения со ртутью (рис. 14). Одним из первых сорбентов, применявшихся для улавливания ртути из отходящих газов и вентиляционного воздуха, был природный пиро-

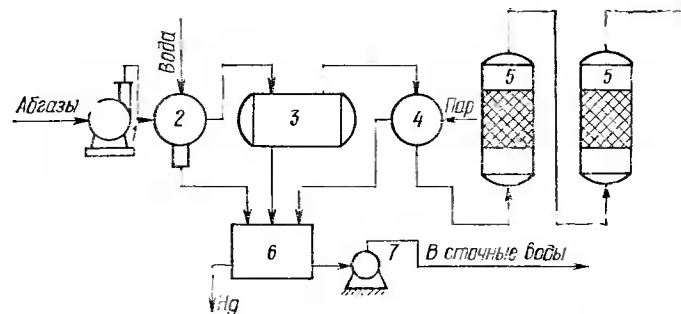


Рис. 14. Схема очистки газов от ртути адсорбционным методом: 1 — газодувка; 2 — холодильник; 3 — фильтр; 4 — теплообменник; 5 — адсорберы; 6 — сборник; 7 — насос

люзит (оксид марганца (IV)). В качестве сорбентов испытывались также активный глинозем, порошки металлов и их оксидов, алюмогель, силикагель, цеолиты, активные угли. В чистом виде они имели низкую обменную емкость и не обеспечивали необходимой глубины очистки.

Для повышения адсорбционной активности в газ, поступающий на очистку, подают окислитель.

Имеются сведения по очистке газов от ртути с помощью молекулярных сит в различных ионообменных формах, в частности металлизированных. Указанные сорбенты отличаются высокой обменной емкостью и степенью очистки, однако газ перед поступлением на очистку должен подвергаться глубокой осушке. По-видимому, применение этого метода целесообразно лишь в тех случаях, когда к очищенному газу предъявляются требования не только по содержанию ртути, но и по влаге.

В условиях, не требующих глубокой очистки от влаги, возможно применение активных углей. Для повышения сорбционной способности угли пропитывают различными солями, кислотами, металлами, некоторыми элементами (хлор, иод, сера и др.). Наиболее эффективными являются иодированный уголь, металлизированный уголь и уголь, пропитанный хлоридом железа (III). В силу низкой стоимости и доступности последний нашел широкое применение для очистки промышленных газов.

6.4. Санитарная охрана почвы

Основными источниками загрязнения ртутью почвы являются загрязненный атмосферный воздух, из которого ртуть адсорбируется почвой или выпадает с осадками, пестициды (гранозан), медицинские препараты, отслужившие срок источники тока, электровакуумные приборы, а также различные токсичные отходы производства. К последним относятся отработанная руда, из которой получали ртуть (огарок), всевозможные шламы и осадки, катализаторы и сорбенты, а также пришедшие в негодность или отслужившие свой срок оборудование, материалы, строительные конструкции и др.

Если вопрос очистки газовых выбросов от ртути решен относительно неплохо, то вопрос демеркуризации твердых отходов можно считать решенным лишь частично. Так, в настоящее время обязательной переработке подвергаются лишь организованные ртутьсодержащие отходы, соответствующие определенным техническим условиям. В Советском Союзе такой переработке подвергаются отходы, отвечающие ГОСТ 1639—78 «Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия». Демеркуризация этих отходов осуществляется централизованно на Никитовском ртутном комбинате. В других странах этот процесс осуществляют также на специализированных предприятиях. Как правило, демеркуризацию проводят термическим методом в специальных печах.

Отогнанная ртуть конденсируется в холодильниках и сливается в баллоны. Абгазы очищают с помощью хемосорбентов, из которых затем также термически извлекают ртуть. Отработанный огарок с содержанием ртути не более 0,005 % отправляется в отвал. Хотя транспортировка ртутьсодержащих отходов к месту переработки осуществляется в специальных контейнерах или герметичной таре, однако при этом имеют место потери ртутьсодержащих отходов.

Отдельные виды отходов перерабатываются на месте. Так, производства хлора и каустической соды электролизом с ртутным катодом оснащены специальными отделениями для термической регенерации богатых шламов (так называемых «амальгамных масел»). Процесс осуществляют при температуре 600—700 °С и вакууме 800 кПа. Для этой цели используют полочные печи, обогреваемые

тэнами, или индукционные печи с корзиной загрузкой шламов. Загрузка, нагрев, регенерация, охлаждение делятся сутки. Отогнанная металлическая ртуть конденсируется в холодильнике. Абгазы очищают активным углем ХПР-ЗП. Оработанный уголь вместе с огарком отправляется на Никитовский ртутный комбинат.

Отдельные виды отходов (отработанные электроды, отдельные детали и узлы аппаратов, тара из-под ртутьсодержащих отходов, площадки для хранения ртутных отходов и загрязненного оборудования, складские территории) рекомендуется подвергать химической демеркуризации (сильные окислители — хлорная вода, хлорид железа (III), перманганат калия, спиртово-иодистый раствор, пероксид водорода и др.) с последующим сбросом этих растворов в сточные воды, которые подвергают специальной очистке.

Активный уголь после потери активности может быть обработан растворами комплексообразователей для извлечения ртути с поверхности угля. Получаемый в результате этого активный уголь может использоваться повторно как адсорбент, а водные растворы комплексных солей ртути подвергают электролизу с выделением металла и раствора комплексообразователя.

Регенерация ртути признается рентабельной, если ее содержание в отходах составляет более 5 %. Однако с санитарно-гигиенической точки зрения и при значительном более низком содержании ртути в отходах они подлежат обработке с целью извлечения из них ртути. Считается, что из лома выпрямителей гальванических батарей можно регенерировать 25 %, а из лома термометров, барометров, отходов зубоврачебных материалов — до 50 % заключенной в них ртути. В ГДР разработана технология очистки, позволяющая за одну ступень получать из вторичного сырья ртуть со степенью чистоты 99,999 %.

Демеркуризация крупногабаритного отработанного оборудования проводится в герметичной демеркуризационной камере, путем циркуляции через камеру горячего воздуха, подвергаемого затем специальной очистке (охлаждению, хемосорбции ртути активным углем).

Что же касается так называемых неорганизованных отходов (ртутные термометры, источники тока, электровакуумные изделия), то здесь ртуть теряется практически полностью. На предприятиях, производящих это

оборудование, бракованные изделия подвергаются частичной демеркуризации водой. Так, на одном из комбинатов искусственного волокна отработанные люминесцентные лампы поступают в аппарат для разбивания ламп, где происходит отмывка — стеклянный бой отмывается от ртути водой. Воздух из аппарата отсасывается и очищается от ртути на активном угле ХПР-ЗП. Из нижней части аппарата демеркуризованный стеклянный бой выгружается и отправляется в отвал, промывная вода обрабатывается хлоридом железа (III) для окисления ртути, сульфидом натрия для перевода ртути в нерастворимый осадок и отделения осадка на фильтре. Оработанный уголь и осадок отправляются на Никитовский ртутный комбинат, очищенная вода сбрасывается в канализацию.

Как правило, отработанные изделия попадают на общие свалки, не приспособленные для хранения ртутьсодержащих отходов и, естественно, являются источником загрязнения воздуха, почвы и подземных вод. Изучение процесса миграции элементарной ртути через почву в подземные водоносные горизонты из мест подземного захоронения ртутных отходов показало возможность использования с целью захоронения простейших сооружений (типа траншей), если исключены условия превращения неорганической ртути в органическую.

В соответствии с существующими нормативными документами ртутьсодержащие отходы, не прошедшие демеркуризации и содержащие менее 0,3 % ртути, должны захораниваться в специально оборудованных хранилищах. Вопросы централизованного сбора и захоронения их решаются в настоящее время. Отражением этого является утверждение МЗ СССР и другими заинтересованными ведомствами целого ряда нормативных документов.

6.5. Демеркуризация

В литературе по вопросам гигиены прочно утвердилось представление об источниках первичного и вторичного загрязнения окружающей среды токсичными веществами и неоднократно высказывалось мнение о том, что по мере эффективного купирования выделения вредных веществ по ходу технологического процесса удельный вес их поступления из источников вторичного загрязнения в воздух будет возрастать.

Особые физико-химические свойства ртути (способность испаряться уже при комнатной температуре, «рассыпаться» по поверхности мельчайшими шариками и тем самым значительно увеличивать площадь испарения, способность ртутных паров сорбироваться пористыми материалами с последующей десорбцией) обуславливают образование и последующее загрязнение воздуха за счет источников ее вторичного выделения из материалов строительных конструкций, оборудования и рабочей мебели, сорбировавших ртуть. Это определяет необходимость проведения специальных мероприятий, получивших название демеркуризационных [10, 129]. В узком смысле демеркуризация — это частный случай санитарно-гигиенических мер по снижению содержания ртути в воздухе рабочей зоны путем купирования «залежной» ртути. В широком смысле — это совокупность мероприятий по предупреждению поступления ртути в воздух рабочей зоны, атмосферный воздух, воду и почву за счет любых источников загрязнения.

О повышении значимости демеркуризации в комплексе оздоровительных мероприятий свидетельствует, в частности, все большее число запросов, поступающих от предприятий, строительных организаций, проектных и исследовательских институтов, учебных заведений по поводу демеркуризации загрязненных ртутью помещений. Повышается интерес гигиенистов, санитарных инженеров, химиков к поиску новых и повышению эффективности ранее разработанных способов демеркуризации производственных помещений, технологического оборудования, спецодежды.

Гигиенические аспекты проблемы вторичного использования отходов и охраны почвы от загрязнения заострили вопросы демеркуризации содержащих ртуть твердых промышленных отходов. В то же время систематического изложения всей совокупности вопросов, связанных с демеркуризацией как профилактическим мероприятием, пока не существует. Именно поэтому проведение демеркуризации (определение показаний, техника, способы, средства, требования, обеспечивающие ее эффективность) встречает определенные трудности и у организаторов производств, и в среде практических врачей-гигиенистов, призванных контролировать ее ход и оценивать эффективность.



Рис. 15. Классификация демеркуризационных работ

Демеркуризационные работы классифицируют в зависимости от задач, объектов и способов их проведения (рис. 15).

С учетом задач, решаемых в процессе демеркуризации, различают *текущую* и *заключительную демеркуризацию*. К первой прибегают тогда, когда ставится задача временного снижения интенсивности вторичного загрязнения воздуха парами ртути преимущественно за счет уменьшения площади и интенсивности испарения «залежной» ртути.

Заключительную демеркуризацию проводят, когда решается задача полного прекращения загрязнения воздуха за счет испарения и десорбции ртути из всех разновидностей источников вторичного загрязнения. Заключительная демеркуризация отличается от текущей не только содержанием поставленной задачи, но и значительно более широким объемом выполняемых работ. Необходимость в ее проведении обусловлена следующими обстоятельствами:

выявлением источников вторичного загрязнения коммунальных объектов, лабораторий, учебных кабинетов, учреждений медико-биологического профиля;

передачей объекта, где ранее проводились работы с использованием ртути или ее соединений, из ведения одной организации в ведение другой;

планированием размещения на производственных площадях, где ранее проводились работы со ртутью или ее соединениями, технологических процессов, не связанных с применением ртути или любых других вредных веществ.

Съемное технологическое оборудование подлежит демеркуризации перед сдачей в ремонт. Бракованные, содержащие ртуть изделия подвергаются демеркуризации в процессе вторичного использования. Наконец, заключительная демеркуризация проводится во всех случаях, когда строительные конструкции объекта содержат столь массивные «депо» ртути, что снизить содержание ее паров в воздухе в результате общепринятых гигиенических мер, в том числе и текущей демеркуризации, невозможно.

Под текущей демеркуризацией понимают комплекс мероприятий, направленных на:

1) механическое удаление капельной ртути, пыли ее соединений и загрязненных ртутью (соединениями) технологических растворов с поверхности полов, вертикальных конструкций, оборудования, рабочей и лабораторной мебели;

2) значительное снижение скорости испарения ртути (ее соединений) из остаточных (не удаленных механическими способами) источников при помощи химических средств.

Опасность капельной ртути как источника загрязнения воздуха определяется площадью поверхности испарения, а также температурой и скоростью движения воздуха над ртутью.

Свойство металлической ртути «рассыпаться» на мелкие капли с большой суммарной площадью испарения приводит к тому, что загрязнение за счет испарения капельной ртути по удельному весу может превосходить загрязнение за счет испарения ртути, находящейся в приборах, и выделения ее паров в воздух в результате технологических операций.

Мероприятия по текущей демеркуризации более эффективны, если их проводить немедленно после загрязнения помещений металлической ртутью и ее соединениями. Эффект текущей демеркуризации достигается последовательным применением средств механического удаления (обеспыливание, гидросмыв, собирания ртути и ее соединений и т. д.) и химических средств, вступающих

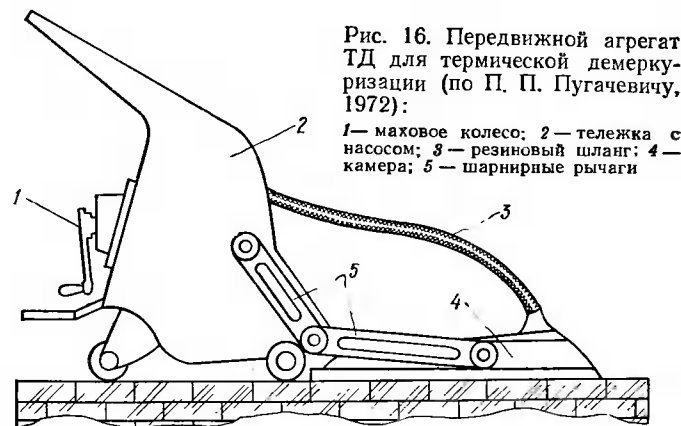


Рис. 16. Передвижной агрегат ТД для термической демеркуризации (по П. П. Пугачевичу, 1972):

1 — маховое колесо; 2 — тележка с насосом; 3 — резиновый шланг; 4 — камера; 5 — шарнирные рычаги

со ртутью или ее производными во взаимодействие с образованием на поверхности капель ртути пленок из малолетучих соединений или полным переводом ртути (ее соединений) в малолетучие соли.

Крупные капли ртути собирают эмалированными совками или вакуумным отсосом; мелкие капли — при помощи амальгамированных палочек, водоструйного насоса или груши с тонким наконечником. В лабораторных условиях капельную ртуть собирают при помощи специальной пасты, состоящей из 1 массовой части пиролюзита MnO_2 и 2 массовых частей 5 %-й соляной кислоты HCl , серной эмульсии (пасты или эмульсии-пасты из глины) или при помощи влажной слабoproклеенной или непроклеенной бумаги.

Очистка помещений от пыли органических и неорганических соединений ртути может проводиться при помощи вакуумотсосов или гидросмыва.

Технологические растворы следует смывать струей воды по направлению к желобам, оборудованным ловушками для ртути.

Однако даже тщательное механическое удаление видимых капель ртути и пыли ее соединений не гарантирует отсутствие микроскопических частиц их на поверхности полов, рабочей мебели и производственного оборудования. Учитывая высокую летучесть ртути после механического удаления видимых ее количеств, целесообразно применять термическую обработку загрязненных поверхностей с одновременным отсосом содержащего ртуть воздуха и направлением его на очистку (рис. 16, 17).

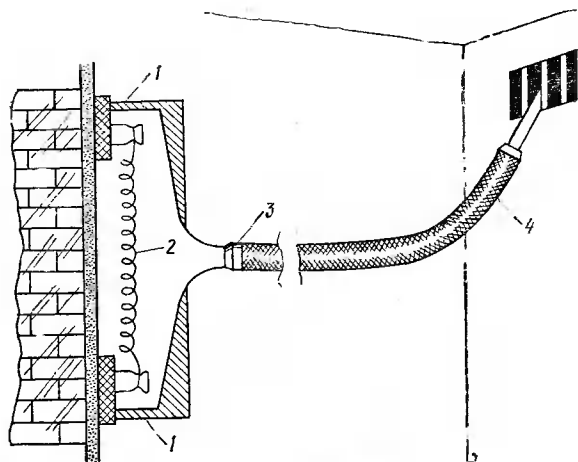


Рис. 17. Переносная нагревательная камера:

1 — теплоизоляционная камера; 2 — нагревательная спираль на фарфоровой трубке; 3 — переходник для подсоединения камеры и шлангу; 4 — резиновый шланг

После того как ртуть собрана одним из перечисленных способов, загрязненная поверхность должна быть обработана химическими демеркуризаторами. К их числу относятся: 20 %-й водный раствор хлорида железа (III) и 0,2 %-й водный раствор перманганата калия, подкисленный соляной кислотой.

Применение раствора хлорида железа (III) предпочтительнее, он способствует раздроблению капель ртути, что увеличивает поверхность взаимодействия ртути с раствором и повышает тем самым эффективность демеркуризации.

Кроме того, в результате применения химических демеркуризаторов капли ртути утрачивают «подвижность», что облегчает последующее их механическое удаление.

Применение при демеркуризации средств, снижающих скорость испарения ртути за счет образования амальгам, не нашло себе широкого применения ввиду ненадежности демеркуризации, построенной на этом принципе.

При загрязнении поверхностей ртутьорганическими соединениями целесообразно последовательное применение хлорных (20 %-й раствор хлорной извести, 4—5 %-й раствор моно- или дихлорамина) и сернистых (5—10 %-й раствор сульфида натрия, 4—5 %-й раствор полисульфида натрия или кальция) соединений.

Собирать капли ртути следует от периферии загрязненного участка к его центру во избежание загрязнения обуви и последующего распространения ртути по всему полу.

Пасты на загрязненную поверхность наносят слоем до 0,5 см. Через 15—20 мин пасту с прилипшими к ней частицами ртути снимают шпателем.

На промышленных предприятиях скопления ртути, пыли ртутьорганических соединений и технологических растворов, содержащих ее растворимые соединения, следует удалять при помощи гидросмыва под давлением по направлению к желобам и ловушкам ртути, смонтированным в конструкциях пола. После этого загрязненную поверхность необходимо обработать химическими демеркуризаторами.

Для увеличения площади соприкосновения ртути с демеркуризатором и внесения последнего в наименее доступные места и участки помещения (оборудования) целесообразно использование средств распыления растворов (краскораспылителей). Возможна обработка поверхностей ветошью, смоченной растворами демеркуризаторов.

Раствор хлорида железа (III) применяют из расчета 8—10 дм^3 на 25 м^2 площади. После нанесения раствора пол несколько раз протирается мягкой кистью или щеткой. Особенно тщательно нужно протирать пол в местах, где имеются выбоины или трещины.

При возможности раствор хлорида железа (III) необходимо оставить до полного высыхания (на 1,5—2 сут). Если условия технологического процесса не позволяют производить длительную обработку остаточной ртути упомянутым раствором, его можно удалить вместе с эмульгированной ртутью через 4—6 ч.

При образовании «ртутной черни» ее легко можно смыть струей воды или удалить щеткой. Однако следует избегать сильного трения для предупреждения разрушения защитной оболочки на частицах ртути, еще не полностью перешедших в «чернь». После очистки от «ртутной черни» поверхность необходимо несколько раз промыть мыльной, а затем и чистой водой.

Раствор хлорида железа (III) рекомендуется применять в качестве демеркуризатора для обработки крашенных деревянных полов, полов из плиток и ожезненного бетона, а также подпольного пространства при наличии

в нем «залежной» ртути. Аналогичным образом применяют и раствор перманганата калия.

При обработке поверхностей, загрязненных ртутьорганическими соединениями, растворы последовательно применяемых демеркуризаторов должны взаимодействовать со ртутью в течение 6—8 ч, после чего обрабатываемые поверхности должны быть тщательно вымыты теплой мыльной водой и насухо вытерты.

Однако эффект применения химических демеркуризаторов кратковременный, поскольку образующиеся пленки разрушаются при механическом сотрясении, повышении температуры, в результате взаимодействия с кислыми газами и парами воздушной среды помещений. Применение демеркуризаторов не гарантирует от вторичного загрязнения воздуха, особенно при наличии «депо» ртути в строительных конструкциях, требует соблюдения целого ряда предосторожностей (среди демеркуризаторов имеются биологически и химически активные соединения) и предполагает предварительную соответствующую отделку помещения. Варианты защиты полов, стен, потолков и колонн от ртути и агрессивных сред, согласно [48], приведены на рис. 18 и 19.

Многолетние наблюдения показывают, что эффект заключительной демеркуризации производственных помещений достигается сочетанием ряда специальных мер, основными из которых являются следующие: удаление загрязненных ртутью элементов здания; термическая обработка строительных конструкций и химическое связывание ртути в их толще; создание условий, затрудняющих или исключаящих поступление паров ртути из «депо», в том числе капсуляция конструкций непроницаемыми для ртути покрытиями; введение в отделочные покрытия химических средств, связывающих ртуть, например, серы в штукатурку; введение серы, пиролюзита или руды, содержащей оксид марганца (IV), в состав новой засыпки подпольного пространства; создание сообщающегося с наружной атмосферой подпольного пространства с одновременной изоляцией его от воздуха помещения, расположенного выше. Выбор оптимального объема необходимых мероприятий по заключительной демеркуризации зависит в каждом конкретном случае как от уровня исходного загрязнения ртутью, так и от характера последующего использования помещений. При выявлении наиболее значительных источников вторич-

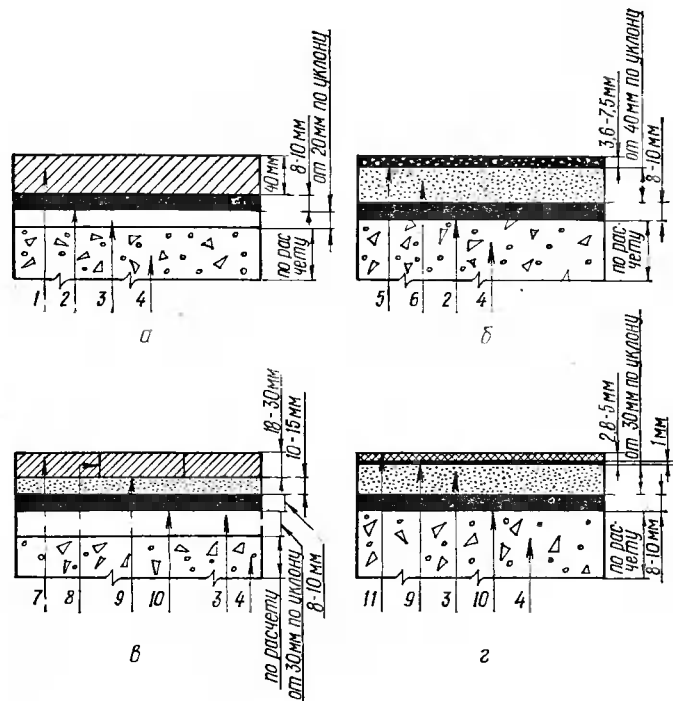


Рис. 18. Варианты защиты полов от ртути и агрессивных сред:

а — монолитное покрытие полов из специального бетона и цементно-песчаного раствора; б — монолитное покрытие из массивных составов; в — плиточные материалы; г — листовые и рулонные материалы; 1 — покрытие из специального бетона и цементно-песчаного раствора; 2 — гидроизоляция с затиркой песком (2,0—2,5 мм); 3 — стяжка из цементно-песчаного раствора; 4 — подстилающий слой из плотного бетона или железобетонного перекрытия (по железобетонному перекрытию выполняется дополнительная стяжка); 5 — покрытие из массивных составов; 6 — стяжка из бетона или цементно-песчаного раствора; 7 — покрытие из плиточных материалов; 8 — швы между плитами, заполненные цементно-песчаным раствором и мастикой; 9 — прослойка из цементно-песчаного раствора для целостного покрытия; 10 — гидроизоляция; 11 — покрытие из листовых и рулонных материалов

ного загрязнения воздуха ртутью — источников третьей степени (содержание ртути в поверхностно расположенных «депо» находится на уровне сотых долей миллиграмма на грамм и выше) или массивных источников второй степени (загрязнение распространяется на несущие конструкции, а в поверхностных «депо» содержание ртути составляет тысячные доли миллиграмма на грамм) следует удалить поверхностный слой конструкций, в частности штукатурку стен и потолков. При обнаружении

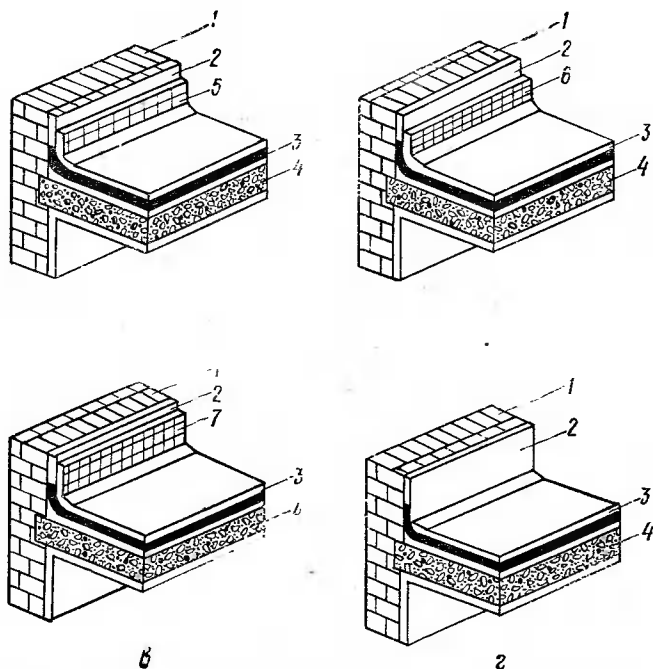


Рис. 19. Основные варианты защиты стен, потолков и колонн от ртути и агрессивных сред (по П. П. Пугачевичу):

а — облицовка стеклянными плитками или листовым стеклом; б — облицовка асбобазитовыми или диабазовыми плитками; в — облицовка глазурованной керамической или метлахской плиткой, обработанной химическими растворами; г — покрытие оштукатуренных строительных конструкций перхлорвиниловыми лакокрасочными составами; 1 — стена или колонна; 2 — цементно-песчаная штукатурка; 3 — ртутнепроницаемое покрытие; 4 — защитное покрытие ртутнепроницаемыми лакокрасочными составами; 5 — стеклянные плитки или листовое стекло; 6 — асбобазитовые или диабазовые плиты; 7 — глазурованная керамическая или керамическая (метлахская) плитка, обработанная химическими растворами

ртути в кирпичной кладке стен проводится термическая демеркуризация, затем — обычные ремонтные работы — восстановление штукатурки и побелка стен. Если в исходном состоянии или после термической демеркуризации в пробах кирпичной кладки стен будут находиться остаточные количества ртути, то в состав новой штукатурки необходимо ввести 5—7 % серного цвета или порошкообразной серы по отношению к массе сухих компонентов, входящих в штукатурку. Известно, что при последующем использовании помещений, подвергаемых демеркуризации, для работ, в процессе которых возмож-

но выделение в воздух ртути, можно ограничиться капсуляцией «депо» ртути в строительных конструкциях с применением ртутнепроницаемых, в частности высокоэффективных перхлорвиниловых составов — грунтов, шпатлевок, эмалей и лаков. Количество слоев покрытий определяется фактическим содержанием ртути в «депо». Так, при содержании десятых долей миллиграмма ртути на грамм поверхности следует рекомендовать нанесение грунта, шпатлевки, двух слоев эмали и лака; при содержании в конструкциях сотых долей — нанесение на существующую штукатурку грунта, эмали и лака, а при содержании ртути на уровне тысячных долей — одного слоя грунта и эмали. При загрязнении второй степени интенсивности, которое ограничивается штукатуркой стен, оптимальными при демеркуризации для случаев, когда не планируется на ранее загрязненных площадях размещать технологическое оборудование, выделяющее в воздух ртуть, будут мероприятия, описанные выше для случаев загрязнения третьей степени. В отношении помещений, где в последующем будут проводиться работы с применением ртути, с равным основанием можно рекомендовать или капсуляцию ртутнепроницаемыми (перхлорвиниловыми) составами в два слоя или нанесение на существующую штукатурку нового слоя с введением в него 5—7 % серного цвета или порошкообразной серы с последующим покрытием нитрокрасками или масляными составами. При наличии источников первой степени интенсивности (содержание ртути в поверхностных слоях конструкций ограничивается десятитысячными долями миллиграмма) и проведении в дальнейшем на указанных площадях работ с использованием ртути можно ограничиться нанесением перхлорвиниловых составов или нитроэмалевого покрытия. Проведение термической демеркуризации в комплексе заключительной демеркуризации целесообразно независимо от интенсивности источников вторичного загрязнения. При наличии массивных источников загрязнения термической десорбции может подвергаться штукатурка стен, если в последующем планируется проведение работ с использованием ртути и штукатурка будет капсулироваться непроницаемыми для ртути составами.

Применение химических средств в комплексе заключительной демеркуризации носит вспомогательный характер и используется перед отделкой стен специаль-

ми устойчивыми ко ртути составами. Растворы химических средств наносятся краскопультами несколько раз для обеспечения пропитывания конструкции на глубину 0,2—0,3 мм.

Покрытие полов, а также содержимое пространства под полами в ходе заключительной демеркуризации, как правило, приходится удалять. При третьей степени загрязнения конструкций основания пола целесообразно обеспечить сообщение «подпольного пространства» с наружной атмосферой (во избежание загрязнения помещений, расположенных этажом ниже) и изоляцию его от воздуха помещений данного этажа.

При загрязнении ртутью рабочей мебели и дверных полотен в пределах десятитысячных долей миллиграмма необходимо длительное (в течение 2—3 мес.) проветривание мебели, желательно при высокой температуре наружного воздуха. Оконные переплеты, подоконники необходимо освободить от краски путем обжига их пламенем газовой горелки, подвергнуть 2—3-месячной «аэрации» и вновь нанести лакокрасочное покрытие.

Проведение строительно-демеркуризационных работ требует соответствующего гигиенического обеспечения и должно осуществляться по плану, согласованному с местными органами санитарного надзора. Должны быть строго регламентированы очередность работ и дифференцированный объем мероприятий по группам помещений или отдельным помещениям, комплекс мероприятий по предотвращению загрязнения «чистых» или ранее освобожденных от ртути помещений и по предотвращению загрязнения почвы строительным мусором, прохождение медицинских осмотров лицами, привлеченными к проведению демеркуризации, обеспечение их индивидуальными защитными средствами. Порядок текущего контроля за состоянием воздушной среды помещений, подвергаемых демеркуризации, и условия приема их в эксплуатацию после окончания всех работ должны быть четко определены. При установлении очередности отдельных этапов демеркуризационных работ следует предусмотреть возможность изоляции помещений, подвергаемых демеркуризации, от остальных помещений здания (изоляция может быть проведена по вертикальной или горизонтальной оси здания). Прежде всего работы следует производить в помещениях, строительные конструкции которых загрязнены более интенсивно, а так-

же в смежных с ними помещениях. Для предотвращения в ходе демеркуризации загрязнения других помещений и территории необходимо освободить помещения, где проводится демеркуризация, от оборудования, рабочей мебели, увлажнять удаляемый со стен, потолка и пола материал (набел, штукатурку, подпольную засыпку и т. д.), увлажнять строительный мусор и обеспечивать своевременное (не позже 2—3 дней) освобождение от него помещений, где проводится демеркуризация.

Лица, проводящие демеркуризацию, должны предварительно пройти медицинский осмотр, быть обеспечены спецодеждой (наравне со строительными работами) и респираторами, а при использовании химических средств (растворы перманганата калия, хлорида железа (III), соляной кислоты и т. д.) — дополнительно резиновыми сапогами, перчатками, фартуком, защитными очками. Поскольку при нанесении ртутенепроницаемых составов в качестве растворителей используются органические растворители, следует строго соблюдать требования специальных санитарных правил, а также противопожарные требования. После проведения всего комплекса мероприятий необходимы контрольные анализы на содержание паров ртути в воздухе. Эксплуатация подлежащего демеркуризации объекта может быть осуществлена только с разрешения органов санитарного надзора.

В процессе демеркуризации крупных промышленных объектов, использовавших в прошлом ртуть или ее соединения, образуется большое количество ртутьсодержащих отходов. Собранные в процессе демеркуризации ртуть должна быть повторно использована — очищена от механических и химических примесей и возвращена в производство. Сточные воды, образовавшиеся в результате промывки оборудования, деталей и узлов приборов и обработки поверхностей (полов, стен, фундаментов оборудования, наружных поверхностей оборудования и т. д.), подлежат очистке на локальных очистных сооружениях, которыми оборудованы ртутные цеха. Твердые отходы, содержащие сорбированную ртуть и ртуть в виде мельчайших механических вкраплений (сконденсировавшиеся пары), подлежат размельчению и термической обработке для извлечения из них ртути. Положение облегчается, с одной стороны, тем, что на многих ртутных предприятиях имеются небольшие

печи, оборудованные системой конденсации и очистки отходящих газов, с другой — быстрой десорбцией ртути, находящейся в элементарном состоянии или в виде относительно высоколетучих (хлорных, оксидных) соединений (при пирометаллургическом производстве ртути используют руду, содержащую низколетучий сульфид ртути). Переработка и повторное использование извлеченной из отходов ртути являются экономическим аргументом в пользу проведения демеркуризации.

Подлежит демеркуризации и масло для вакуумных насосов, загрязняемое ртутью в процессе эксплуатации насосов. Масло обрабатывают порошком сульфида цинка, который адсорбирует практически всю ртуть. Сульфид цинка с адсорбированной ртутью из масла удаляют фильтрованием, после чего возможно повторное использование масла; в свою очередь, ртуть можно удалить также и с поверхности сульфида цинка, что обусловит и регенерацию сорбента, и сохранит некоторое количество ртути для повторного использования.

Существенно загрязняют жилую зону ртутью такие приборы, как люминесцентные лампы и источники тока, содержащие ртуть и ее соединения. Находя широкое применение в бытовой технике и отслужив свой срок, они попадают, в лучшем случае, на городские свалки, так как вопрос централизованной переработки использованных люминесцентных ламп до настоящего времени не решен. Практически отсутствуют и установки по их демеркуризации.

В прошлом предлагалось извлекать ртуть из пришедших в негодность ламп и стеклянных приборов, обрабатывать ее соляно-кислым раствором перманганата калия и уничтожать, подразумевая, по-видимому, сброс в канализацию. При этом не учитывалось, что ртуть переводится в чрезвычайно токсичный хлорид ртути (II). При содержании в одной лампе всего 100 мг ртути происходит загрязнение 200 м³ воды до ПДК_в (0,0005 мг/дм³). В последнее время появились новые технические решения по демеркуризации загрязненной ртутью стеклобоя. По одному из них ртуть из «боя» извлекается методом термической возгонки. Однако наряду с неудовлетворительными технико-экономическими показателями метода происходит частичная потеря ртути (поступление в атмосферу в виде пара). По другому методу ртутные лампы разбиваются в специальном аппарате, где стек-

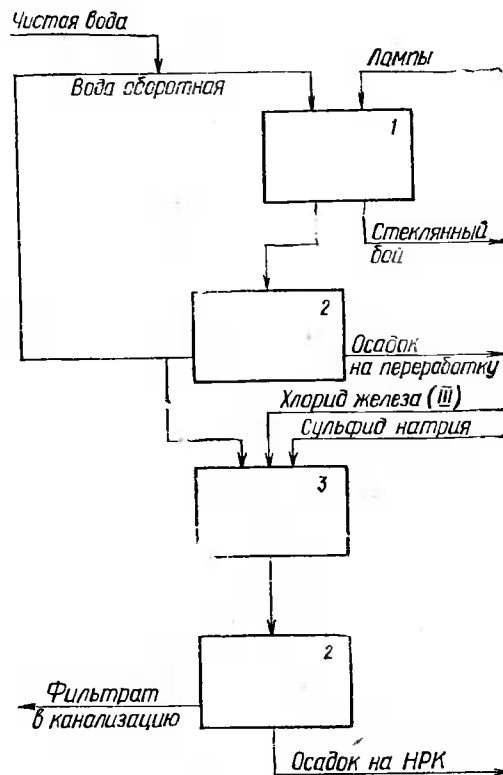


Рис. 20. Принципиальная схема демеркуризации стеклянных изделий:

1 — устройство для разбивания ламп; 2 — фильтр для отделения ртутьсодержащего осадка; 3 — реактор для осаждения ртути

лянный бой отмыывают от ртути водой, после чего он направляется в отвал. Воду фильтруют и повторно подают на промывку ламп. По мере накопления в воде растворимых соединений ртути и люминофора часть воды поступает на обработку хлоридом железа (III) для перевода всей ртути в сулему с последующей обработкой сульфидом натрия. Полученный раствор фильтруется. Фильтрат объединяют с промывной водой или сбрасывают, а осадок объединяют с осадком, полученным при промывке стеклянного боя, и направляют на Никитовский ртутный комбинат для централизованной переработки (рис. 20). Этот метод также не лишен недостатков: схема многоста-

дийна, в результате обработки изделий образуются сточные воды, которые необходимо очищать от ртути. Не решены также вопросы сбора отработанных ламп и загрязненных ртутью изделий, их транспортировка и хранение. Не принято окончательного решения по организации переработки — централизованная система демеркуризации или создание сети локальных установок.

Еще более широкий смысл приобретает понятие демеркуризация при ликвидации последствий загрязнения ограниченных регионов суши или воды. Такая задача стоит перед Японией в связи с загрязнением воды, морского дна и продуктов моря в заливе Минамата (западное побережье Японии), где расположен одноименный порт с грузооборотом 1,2 млн т/год. Для ликвидации последствий загрязнения дна залива разработана программа работ, включающая ограждение сетью акватории порта (для предотвращения миграции рыб), строительство дамбы (для уменьшения течения в заливе как условия проведения последующих работ), извлечение со дна залива с площади участка около 2,1 млн м² грунта с содержанием более 25 мг/кг ртути (ориентировочный объем грунта 1,5 млн м³), который будет вычерпан и вывезен в наиболее загрязненную зону внутренней гавани площадью 0,53 млн м², которая, в свою очередь, будет полностью отделена от залива и засыпана, строительство новых причалов взамен ликвидируемых во внутренней гавани. Проект рассчитан на 8 лет, стоимость работ определена в 20,3 млрд иен, 60 % из которых платит предприятие-виновник загрязнения [167].

6.6. Вопросы экономической эффективности природоохранных мероприятий

Являясь комплексной народнохозяйственной задачей, охрана природы не может рассматриваться сегодня как сфера деятельности, дающая исключительно социальный эффект. Несмотря на все трудности экономического анализа и определения денежного выражения ущерба, наносимого природе и здоровью человека поступающими во внешнюю среду токсичными агентами, эти вопросы защиты природы столь же актуальны, как и разработка безотходных технологий, конкретных технических решений в области повторного использования отходов, очистки вентиляционных выбросов и сточных вод

и т. д. Не случайно и в научных изданиях [48, 52, 142], и на различного рода конференциях и симпозиумах, и в периодической печати [9, 53, 95] социальные и экономические аспекты природоохранных мероприятий рассматриваются в единстве.

По мнению О. Ф. Балацкого [8], оценка экономической эффективности природоохранных мероприятий должна базироваться на стоимостном выражении того экономического ущерба, который сформировался в результате реальной хозяйственной деятельности человека (предприятия). Экономический ущерб $У$, определяется как сумма материального ущерба $У_m$ (потери от уноса сырья, материалов, полупродуктов и готовой продукции), производственного $У_n$ (дополнительные затраты на замену преждевременно износившегося оборудования, транспорта, на дополнительную уборку, покраску, побелку, мытье окон, потери от заболеваемости, текучести кадров, травматизма и т. д., которые несет предприятие) и народнохозяйственного $У_x$ (потери коммуналного, водного, сельского, лесного, рыбного хозяйств и здравоохранения) ущербов. На первые две группы ущерба приходится 8—12 % всего объема ущерба, на третью — 88—92 %. Наибольший удельный вес в экономическом ущербе занимает локальный ущерб, наносимый здравоохранению. Так, пореципиентные ущербы от загрязнения атмосферы включают ущерб от ухудшения здоровья населения (44—45 %), ущерб, причиняемый жилищно-коммунальному (33—34 %), сельскому и лесному хозяйствам (10—12 %), промышленности (12—10 %). К сожалению, определение этого локального ущерба вызывает наибольшие трудности, связанные с отсутствием исследований комплексной экономической оценки последствий заболевания человека, а они громадны. В США стоимость общих потерь из-за всех случаев заболеваний в 1972 г. определена в размере 182 млрд долларов, в том числе 40,1 млрд долларов — за счет непосредственного загрязнения окружающей среды (из них 8,6 — за счет загрязнения воздуха, 4,4 — за счет загрязнения воды) и 35,5 млрд долларов — ущерб от вредных привычек (из них 23,2 — алкоголизм, 3,7 — наркомания, 7,6 — курение табака) [149].

Отражением того, что вопросы оценки этого ущерба созрели для практического решения, служит наличие многочисленных предложений (проектов) по фактиче-

скому учету ущерба и расчету экономической эффективности научно-технических решений в области охраны природы. Среди них «Проект методики комплексной экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды вредными токсикологическими выбросами» (Кузбасский политехнический институт), «Рекомендации для определения ущерба от загрязнения водных источников» (Минводхоз СССР), «Рекомендации по расчету экономической эффективности научно-технических мероприятий в области водного хозяйства промышленных предприятий (проект)» (разработан ВНИИВОДГЕО), «Методические указания по определению экономической эффективности гигиенической рекомендации» (Сумской филиал Харьковского политехнического института) и некоторые другие. В 1986 г. утверждена «Временная типовая методика определения экономической эффективности природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей природной среды». Возможность применения этих методик во многом лимитируется отсутствием информации об удельных ущербах, наносимых отдельным подразделениям народного хозяйства от потерь сырья, полупродуктов и целевых продуктов и поступления их в биосферу, а также необходимостью учета местных конкретных условий, поскольку расчет ущерба должен проводиться на региональном уровне дифференцированно к каждому загрязнителю. Между тем отсутствие корректных, приемлемых и утвержденных на соответствующем уровне методик оценки прямого и опосредованного ущерба порождает миф об экономической убыточности противохимической защиты биосферы. Задача ближайшего времени — ввести подлинно экономическое управление народным хозяйством, безусловно, учитывающее медицински и биологически обоснованные санитарные и экологические нормативы. Механизм штрафных санкций следует заменить полной компенсацией гигантского ущерба, который нерационально организованные энергетика, промышленность, транспорт, сельское хозяйство наносят природе и человеку в результате химического загрязнения окружающей среды [114].

Применительно к предприятиям металлургии О. Ф. Балацкий предложил понятие общего ущерба U_0 от действия загрязненной атмосферы определять как сумму ущербов, причиняемых отдельным подразделе-

ниям народного хозяйства (локальные ущербы) на площади радиусом 18 км². Эта площадь условно разделена на 8 кольцевых зон с источником выброса в центре первой зоны (число зон, которые необходимо выделить и учитывать при расчете ущерба, зависит от природы загрязнителя и количества выбросов). Ущерб, причиняемый каждому подразделению хозяйства, складывается из ущерба по всем зонам, на которые распространяется загрязнение. Ущерб, причиняемый тому или иному подразделению в каждой зоне, зависит от удельного ущерба и величины выброса. По данным автора, удельный ущерб составляет для пыли металлургических производств 60—100 р./т, для оксида серы (IV) — 25—300 р./т, для оксида углерода (IV) — 6—27 р./т. Главная задача состоит в том, чтобы правильно определить удельные ущербы от того или иного загрязнителя для каждого подразделения народного хозяйства. Зная ущерб, причиненный народному хозяйству, можно рассчитать эффективность принятой системы очистки вентиляционных выбросов как разницу между общим ущербом и затратами на проектирование, строительство и эксплуатацию очистных сооружений (в рублях). Однако пользоваться этой методикой предприятиям, эксплуатация которых сопровождается загрязнением окружающей среды ртутью, можно будет только после того, как будут определены удельные ущербы поступления в атмосферу техногенных выбросов ртути.

Применительно ко ртути с учетом сказанного выше реальной представляется попытка оценки ущерба, наносимого водным экосистемам. Для этого была разработана математическая модель обмена и трансформации элемента (ртути) в абиотических компонентах экосистемы, проанализирована реакция биологических компонентов экосистемы на повышенные уровни ртути, рассмотрены вопросы возможного снижения кормовой базы и накопления ртути ихтиофауной водоема [12]. При разработке математической модели были сделаны неизбежные упрощения реальной картины, заключающиеся в следующем: модель включает три основных блока — атмосферу, почву и водоем, занимающий центральное место в модели. Рассматривались только процессы обмена неорганической ртути (процессы метилирования и биотрансформации элемента не учитывались). Фоновое содержание ртути в атмосфере, почве и водоеме опреде-

ялось естественным поступлением из глубоких слоев почвы, испарением с земной поверхности, вымыванием из атмосферы и из почвы поверхностными и почвенными водами. Исследования показали, что основное количество ртути, поступившей из антропогенных источников, сосредоточено в почвенном слое глубиной 20 см; водоем является конечным звеном процесса миграции и транспорта ртути; донные отложения водоема и гидробионты — необратимое депо ртути. Достоинством модели (и предложенной системы линейных дифференциальных уравнений) является то, что все параметры могут быть определены по известным геохимикам уровням ртути в контрольном районе, данным геологических и гидрографических изысканий, имеющихся в органах водной инспекции, и данным о мощности выбросов ртути в изучаемом районе, также имеющимся в инспектирующих органах. Используя систему уравнений, можно прогнозировать возможные уровни ртути в атмосфере, почве и водоеме при различных мощностях промышленных выбросов ртути и различной длительности подобного загрязнения.

При анализе реакции биологических компонент водных экосистем на повышенные уровни ртути водоем рассматривался не как совокупность отдельных видов и классов биологических объектов, а как совокупность отдельных связанных между собой трофическими цепями звеньев ценоза. При таком рассмотрении роль каждого выделяемого трофического уровня в распределении ртути и ее соединений по компонентам водоема, а также всей водной экосистемы определяется следующими факторами:

- 1) уровнями накопления ртути;
- 2) темпами накопления ртути на каждом из рассматриваемых уровней;
- 3) биомассой выделяемого трофического уровня;
- 4) влиянием ртути на биологическую продуктивность звена.

Кумулирующая способность гидробионтов характеризуется коэффициентом накопления (КН), равным отношению содержания токсичного вещества в определенном виде гидробионтов (в мг/кг) к содержанию этого же вещества в воде (в мг/дм³). По данным разных авторов, КН ртути колеблется в диапазоне 10—550 (фитопланктон), 14—105 (высшие растения), 300—2240 (зоопланктон),

100—2240 (бентос), 11—2700 (рыба). Создается впечатление, что ни один из выделенных уровней не обладает ярко выраженной способностью преимущественного накопления ртути. Анализ влияния ртути, ее органических и неорганических соединений на отдельные звенья водной экосистемы также не позволил выделить наиболее чувствительное (поражаемое) к ртути звено. Однако фитопланктон является первичным звеном водных экосистем, определяющим первичную продукцию всей экосистемы, при этом была установлена зависимость снижения интенсивности фотосинтеза фитопланктона от содержания неорганических солей ртути в воде и показано, что при содержании ртути 10^{-6} г/дм³ или менее интенсивность фотосинтеза максимальна. Приняв произвольно КН ртути рыбами, равным 700—2500, и опираясь на величину ДОК ртути в рыбе (0,5 мг/кг), авторы рассчитали то содержание ртути в водоеме, которое соответствует утвержденной МЗ СССР ДОК и превышение которой приводит к накоплению ртути в предельном допустимом уровне во всей рыбе водоема, т. е. к непригодности к пищевому потреблению всей рыбы. Такое содержание ртути в воде водоема является критическим. Таким образом, необходимо установить тот отрезок времени, после которого при заданных условиях поступления ртути в атмосферу рыба данного водоема окажется непригодной в пищу. С этого момента общество начинает нести экономический ущерб, который легко подсчитать, зная рыбопродуктивность водоема и товарную цену рыбы.

Рассмотрим в качестве примера максимально приближенный к авторской редакции расчет ущерба от промышленных выбросов ртути в атмосферу.

Исходная информация. 1. Промышленный сток ртути в водоем отсутствует; мощность атмосферного выброса ртути составляет 300 кг в неделю, что примерно соответствует уровню выбросов крупной тепловой электростанции, работающей на угле.

2. Расчет относится к региону, площадь которого ограничена окружностью радиусом 15 км. Суша в регионе составляет 95 %. Содержание ртути в атмосфере и почве контрольного района (соизмеримого с заданным регионом по климато-географическим и почвенным условиям) составляет соответственно 10^{-8} г/м³ и 10^{-7} г/см³.

3. Исходное содержание ртути в воде водоемов $5 \cdot 10^{-6}$ г/дм³. Общая площадь водоема 3,5 тыс. га при

средней глубине 3 м. Средний КН ртути рыбой составляет 1500.

4. Скорость осаждения ртути из воздуха принята равной 0,7—1/нед., скорость вымывания ртути из почвы — $3 \cdot 10^{-4}$ 1/нед.

Подставляя исходные значения в уравнения, рассчитаем производные параметры: естественное поступление ртути в почву ($1,44 \cdot 10^{-10}$ г/(см³ · нед.)), скорость сорбции ртути гидробионтами и донными отложениями (0,83 1/нед.), среднее содержание ртути в воздухе рассматриваемого региона ($7,7 \cdot 10^{-8}$ г/м³), среднее поступление ртути в воздух за счет промышленных выбросов ($5,32 \cdot 10^{-8}$ г/(м³ · нед.)). Как следует из расчетов, при заданных условиях содержание ртути в водоеме за 100 лет возрастет примерно в 10 раз. Снижение интенсивности фотосинтеза фитопланктона не превысит 4—5 % первоначального значения и не повлияет на кормовую базу водоема в такой мере, чтобы его учитывать в рамках предложенной методики. Иначе обстоит дело с накоплением ртути рыбой водоема. При КН, равном 1500, критическое содержание ртути в воде ($3,3 \times 10^{-4}$ г/м³) будет достигнута в водоеме спустя 10—12 лет после начала загрязнения региона. С этого момента продукция водоема будет непригодна для потребления в пищу.

Для перехода к стоимостному выражению экологического ущерба необходимо располагать данными о рыбопродуктивности водоема, цене рыбы, доле вылавливаемой рыбы. В приведенном авторами примере потери составляют 74 тыс. р. ежегодно.

Внедрение природоохранных мероприятий уменьшит выброс ртути в атмосферу и отодвинет срок, начиная с которого продукция водоема окажется непригодной для потребления в пищу. Тем самым будет уменьшен ущерб, наносимый рыбному хозяйству загрязнением атмосферы ртутью. Сведения об удельном весе локальных ущербов от загрязнения ртутью отсутствуют. Приняв за основу расчеты О. Ф. Балацкого (удельные веса ущербов в сфере здравоохранения, коммунального и бытового хозяйства, сельского, лесного хозяйства, промышленности и прочие составляют соответственно 36, 32, 6, 6, 13 и 7 %) и соотнеся 74 тыс. р./год. (как ущерб только рыбному хозяйству) с возможными другими ущербами, убедимся, что он не так уж мал.

Оздоровление окружающей среды от химического загрязнения становится сегодня обязательным условием при повышении эффективности общественного производства, а также необходимым условием развития общества. На примере металлургических производств показано, что средства, вложенные в мероприятия по охране окружающей среды, не только быстро окупаются, но и дают экономический эффект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная экологическая ситуация бесспорно является объектом комплексного междисциплинарного исследования. Медицинская наука и, в первую очередь, гигиена призвана изучать здоровье человека как результат сложного взаимодействия организма с природной и социальной средой его существования, вносит свою лепту в разработку экологических проблем с позиций профилактики заболеваний, пытается переосмыслить свои цели, задачи и средства их достижения в связи с тем новым в жизни общества, что принес с собой научно-технический прогресс второй половины XX века. Отражением процесса дальнейшей интеграции теории и практики гигиены и экологии в интересах обеспечения охраны здоровья человека явилось формирование нового научного направления — «санитарной экологии»¹.

На 59-й сессии Общего собрания АМН СССР (1989 г.), посвященной вопросу «Здоровье человека и окружающая среда», приводились данные, свидетельствующие о нарастающем экологическом дисбалансе. В частности отмечалось, что универсальные механизмы биологической адаптации человеческого организма отнюдь не беспредельны. Поэтому в принятом решении особо подчеркнуто, что разработка медико-биологических аспектов охраны окружающей среды требует усиления фундаментальных исследований. При обсуждении концепции Программы биосферных и экологических исследований АН СССР на период до 2015 г. также подчеркивалось, что развитие исследований в области экологии предусматривает отнесение к числу «...фундаментальных проблем круга науч-

¹ См.: Гигиена и санитария.— 1990.— № 5.— С. 94.

ных вопросов, связанных с выявлением механизмов взаимосвязи человека и окружающей среды»¹. Показательно, что в ходе обсуждения вопросов экологической безопасности и гигиены окружающей среды в числе токсичных металлов ртуть неоднократно упоминалась как один из наиболее опасных химических загрязнителей.

Авторы надеются, что содержание их труда не только заинтересует читателя, но и будет способствовать его активному участию в решении насущных экологических задач. Ведь эти сложные задачи не могут быть решены усилиями только ученых, органов охраны природы и здравоохранения. Каждый из нас кровно заинтересован в экологическом благополучии среды своего обитания. Поэтому все замечания и пожелания читателей будут восприняты авторами с благодарностью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения — 2-е изд. — М., 1960—1980.
2. КПСС в резолюциях и решениях съездов, конференций и пленумов ЦК. — 8-е изд. Т. 2. 1917—1924 гг. Восьмой съезд РКП(б). — М., 1970. — С. 35—87.
3. XIX Всесоюзная конференция Коммунистической партии Советского Союза. 28 июня — 1 июля 1988 г. Стенографический отчет: В 2 т. — М.: Политиздат, 1988. — Т. 2. — 399 с.
4. Глобальный баланс и предельно допустимые выбросы ртути в атмосферу / Б. П. Абрамовский, Ю. А. Анохин, В. А. Ионов и др. // Всесторонний анализ окружающей природной среды. Тр. II сов.-амер. симпоз. / Гонолула, Гавайи, 20—26 окт. 1975 г. / — Л.: Гидрометеониздат, 1976. — С. 35—48.
5. Абрамовский Б. И., Ионов В. А., Назаров И. М., Фуров В. З. Вопросы самолетной съемки антропогенных выбросов и геохимического фона ртути в атмосфере // Защита атмосферы от загрязнений. — Вильнюс, 1974. — Вып. 2. — С. 46—54.
6. Айриан А. П. О социально-экологической очаговости болезней человека. — Ереван: Айастан, 1985. — 126 с.
7. Алистратов С. В. Загрязнение почв ртутью в подмосковном угольном бассейне // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях. Тез. докл. к 4-му Всесоюз. совещ. (Ужгород, 10—12 окт. 1988 г.). — М., 1988. — С. 10.
8. Балацкий О. Ф. Экономика чистого воздуха. К.: Наук. думка, 1979. — 296 с.
9. Балацкий О. Ф., Тархов В. П. Экономическая эффективность гигиенических рекомендаций в региональной планировке // Гигиена и санитария. — 1987. — № 2. — С. 16—18.
10. Бармашенко В. И., Коршун М. Н., Чвирук В. П. Демеркуризация оборудования хлорных производств // Гигиена труда и профзаболевания. — 1988. — № 7. — С. 36—39.
11. Безель В. С. Некоторые подходы к экологическому прогнозированию последствий промышленного загрязнения наземных экосистем тяжелыми металлами // Экология. — 1982. — № 5. — С. 65—71.
12. Безель В. С., Андрияшкин Ю. Г., Коршун М. Н., Скрипник В. А. К вопросу оценки последствий загрязнения водных экосистем промышленными выбросами ртути // Количественные методы в экологии позвоночных. — Свердловск: АН СССР. УНЦ, 1983. — С. 141—157.
13. Богомолова З. И., Штенберг А. И. О содержании ртуть-органических соединений (метил- и этилпроизводных) в некоторых

¹ См.: Вестник АН СССР, — 1988, — № 11, — С. 45.

видах рыб и продуктах моря // *Вопр. питания.*— 1976.— № 3.— С. 50—53.

14. *Большаков А. П., Кирикилица С. И., Птушка Л. И., Эдельман А. М.* Техногенные ореолы ртути // *Гигиена и санитария.*— 1974.— № 2.— С. 111—112.

15. *Бондарев Л. Г.* Ландшафты, металлы и человек.— М.: Мысль, 1976.— 71 с.

16. *Борисенко Н. Ф.* Условия труда при протравливании семян // *Защита растений.*— 1967.— № 1.— С. 21—23.

17. *Борисов Н. Б., Борисова Л. И., Петрянов И. В.* Аналитическая лента СФЛ—Р—50 и фильтры АФАС—Р для определения содержания ртути в газовых средах // *Гигиена и санитария.*— 1977.— № 3.— С. 54—56.

18. *Брукс Р. Р.* Загрязнение микроэлементами // *Химия окружающей среды* / Под ред. Дж. О. М. Бокрис; Пер. с англ.— М.: Химия, 1982.— С. 371—413.

19. *Брускин Э. Э.* Опыт изучения условий труда и загрязнения воздушной среды при применении этилмеркурхлорида в Омской области // *Гигиена труда.*— 1958.— № 5.— С. 20—25.

20. *Бухман С. П., Нысанбаева З. Н., Черкасова Н. М.* О переработке производственных отходов, содержащих ртуть // *Вестн. АН КазССР.*— 1984.— № 10.— С. 23—26.

21. *Гигиенические аспекты загрязнения окружающей среды ртутью* / К. А. Буштуева, Л. Е. Беспалько, А. А. Гасилина и др. // *Металлы. Гигиенические аспекты оценки и оздоровления окружающей среды.*— М.: НИИГТиПЗ, 1983.— С. 109—118.

22. *Васильковская Л. Ф.* Циркуляция и трансформация хлор-, фосфор-, ртутьпроизводных препаратов в системе окружающая среда — биологический объект.— К.: Наук. думка, 1985.— 456 с.

23. *Вашакидзе В. И.* Экспериментальные данные о гонадотропном, эмбриотропном и мутагенном действии гранозана // *Вопр. гигиены и токсикологии пестицидов.*— М.: Медицина, 1970.— С. 134—139.

24. *Введение в геогигиену* / Под ред. Н. В. Лазарева.— М.: Л.: Наука, 1966.— 324 с.

25. *Венг рек В., Мацкевич С., Трояновски Х.* Влияние пестицидов на урожай сельскохозяйственных культур и некоторые элементы биоценоза защищаемых полей // *Химия в сел. хоз-ве.*— 1975.— № 6.— С. 67—73.

26. *Вернадский В. И.* Избранные сочинения: В 6 т.— М.: Изд-во АН СССР.— 1954—1960.— Т. 1—6.

27. *Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах.— 2-е изд., доп.— М.: Изд-во АН СССР, 1957.— 237 с.

28. *Гапонюк Э. И., Блинов Б. К., Кремленкова Н. П., Губкина Л. И.* Влияние ртути на биологическую активность почвы // *Тр. ин-та эксперим. метеорологии Госкомгидромета.*— 1985.— № 13 (118).— С. 91—96.

29. *Гончарук Г. А.* Влияние ртутьорганических пестицидов ртути и меркургексана на потомство белых крыс // *Гигиена и санитария.*— 1968.— № 6.— С. 111—113.

30. *Грановский Э. И., Сланцев А. Я.* Определение ртути атомно-абсорбционным методом, Сообщ. 1. Выбор оптимальных условий

определения ртути атомно-абсорбционным методом и исследование поведения водных растворов ртути при хранении; Сообщ. 2. Исследование процесса десорбции ртути со стенок сосудов используемых для хранения растворов; Сообщ. 3. Атомно-абсорбционное определение ртути с предварительным сорбированием ее благородными металлами // *Вопр. гигиены и профессиональных заболеваний рабочий хим. пром-ти: Тр. НИИ краевой патологии МЗ Каз. ССР.*— Т. 32.— Алма-Ата, 1978.— С. 129—152.

31. *Состояние генеративной функции животных при круглосуточном ингаляционном воздействии смеси ртутьсодержащих солей* / Н. В. Гринь, А. Б. Ермаченко, Е. И. Беседина и др. // *Гигиена и санитария.*— 1981.— № 10.— С. 88—90.

32. *Гуревич Е. С., Искра Е. В., Куцевалова Е. П.* // *Защита морских судов от обстрела.*— Л.: Судостроение, 1978.— 200 с.

33. *Деменцева Г. Ю.* К вопросу о внутриутробной гранозановой интоксикации // *Вопр. с-х. профпатологии: Науч. тр. № 106 / МЗ РСФСР. Омский мед. ин-т.*— Омск, 1971.— С. 137—141.

34. *Дмитриев М. Т., Тарасова Л. Н.* Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и методы их определения (Обзор литературы). МЗ СССР, ВНИИМИ, Экспресс-информ. «Гигиена».— М., 1985.— Вып. 9.— 21 с.

35. *Дмитриев М. Т., Ермаченко Ф. Б., Литвиненко В. Г.* Гигиеническая характеристика ртутного загрязнения атмосферного воздуха // *Гигиена и санитария.*— 1989.— № 8.— С. 71—73.

36. *Добровольский В. В.* География микроэлементов. Глобальное рассеяние.— М.: Мысль, 1983.— 272 с.

37. *Дубинская И. А.* Инструментальный нейтронно-активационный анализ волос человека для определения ртути в условиях возможного профессионального загрязнения // *Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. и техн. наук.*— 1980.— № 2.— С. 16—22.

38. *Дубовая Е. Н., Веретельник А. И.* Пути оздоровления условий труда на ртутноперерабатывающей подстанции // *Гигиена труда.*— 1975.— № 3.— С. 43—44.

39. *Егоров Н. С.* Задачи подготовки кадров в области охраны окружающей среды в системе повышения квалификации // *Пробл. соверш., повыш., квалификации руковод. работников и спец. нар. хоз-ва в области охраны окружающей среды: Тр. Всесоюз. конф. (Тбилиси, 21—23 дек. 1983 г.).*— Тбилиси, 1983.— С. 3—23.

40. *Ермаков В. В.* Биогенная миграция ртути в условиях техногенеза биосферы // *Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах.*— Л.: Гидрометеоздат, 1980.— С. 20—28.

41. *Ермаков В. В.* Трансформация и кумуляция ртутьсодержащих соединений в организме животных // *Пробл. гигиены и токсикологии пестицидов. Тез. докл. VI Всесоюз. науч. конф.*— К.: ВНИИГИНТОКС, 1981.— Ч. 2.— С. 154—155.

42. *Ермаченко А. Б.* Гигиеническая оценка распределения и накопления ртути в организме животных при хроническом поступлении из различных сред // *Гигиена и санитария.*— 1987.— № 6.— С. 72—73.

43. *Ерогов В. П.* Гигиеническая характеристика биогеохимической ртутной провинции Горного Алтая и ее влияние на здо-

ровые населения и эндемический зоб как проявление краевой патологии : Автореф. дис. ... канд. мед. наук.— К., 1972.— 18 с.

44. *Закономерности распределения ртутьсодержащих соединений в органах и тканях животных* / В. Н. Жуленко, Г. Н. Георгиева, Л. А. Смирнова и др. // *Современные вопросы токсикологии и гигиены применения пестицидов и полимерных материалов*.— К. : ВНИИГИНТОКС, 1985.— С. 83.

45. *Об исследовании проб воздуха на содержание паров ртути химическим методом и методом атомной абсорбции* / А. Ж. Жусилбеков, В. П. Гладышев, Г. Ф. Вильямс и др. // *Гигиена и санитария*.— 1977.— № 4.— С. 84—85.

46. *Жученко И. П.* Эффективность мероприятий по снижению концентраций паров ртути на Ладыжинской районной электростанции // *Гигиена труда*.— 1975.— № 8.— С. 47—48.

47. *Зарубин Г. П., Новиков Ю. В.* Гигиена города.— М. : Медицина, 1986.— 272 с.

48. *Защита металлов от коррозии (метод. и нормат. материалы)*. М. : НИИТЭХИМ, 1975.— 68 с.

49. *Зербино Д. Д.* Экологическая патология человека: постановка проблемы // *Пробл. соц. эколог. : Тез. докл. I Всесоюз. конф.* (Львов, 1—3 окт. 1986 г.).— Львов, 1986.— Ч. 2.— С. 90—92.

50. *Игнатьев В. М.* Гонадотоксическое и эмбриороксическое действие паров металлической ртути // *Гигиена и санитария*.— 1980.— № 3.— С. 72—73.

51. *Игнатьев В. М.* О предельно допустимой концентрации азотокислой ртути в воде водоемов // *Гигиена и санитария*.— 1980.— № 11.— С. 37—40.

52. *Измеров Н. Ф.* Социально-гигиенические аспекты охраны атмосферного воздуха в условиях научно-технического прогресса.— М. : Медицина, 1976.— 185 с.

53. *Измеров Н. Ф., Трахтман Н. Б.* Социально-экономические вопросы гигиены окружающей среды // *Гигиена и санитария*.— 1975.— № 5.— С. 57—62.

54. *Израэль Ю. А.* Допустимая антропогенная нагрузка на окружающую природную среду (вводный доклад) // *Всесторонний анализ окружающей природной среды : Тр. II сов.-амер. симпоз.* (Гонолулу, Гавайи, 20—26 окт. 1975 г.).— Л., Гидрометеозидат, 1976.— С. 12—19.

55. *Израэль Ю. А.* Экология и контроль состояния природной среды.— М. : Гидрометеозидат, 1984.— 560 с.

56. *Исидоров В. А.* Органическая химия атмосферы / Под ред. Б. В. Иоффе.— Л. : Химия, 1985.— 264 с.

57. *Калинин В. Д., Гранкина А. А.* К судебно-медицинской экспертизе отравлений органическими соединениями ртути // *Судебно-медицинская экспертиза и криминалистика на службе следствия*.— Ставрополь, 1971.— Вып. 6.— С. 428—431.

58. *Карасик М. А.* Пары ртути в атмосфере. Обзор. Геология, методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых.— М. : ВИЭМС, 1978.— 58 с.

59. *Касткус К., Шакалис И., Розенберг Г.* Результаты измерения концентраций ртути в атмосфере по горизонтальным и вертикальным профилям // *Физ. атмосферы*.— Вильнюс, 1985.— № 10.— С. 69—72.

60. *Киш П. П., Витенко Г. М., Сабов В. А., Булеца В. И.* Экстракционно-фотометрическое определение ртути в почвах и водах // *Гигиена и санитария*.— 1975.— № 11.— С. 74—76.

61. *Кливленко М. А., Шмигидина А. М.* Хроматографический метод определения неорганических и органических соединений ртути в пресной воде // *Гигиена и санитария*.— 1974.— № 1.— С. 64—65.

62. *К влиянию гранозановой интоксикации на плаценту и плод* / В. Л. Козаленко, Л. А. Барков, Т. В. Бокарева и др. // *Вопр. с.-х. профпатологии*. Науч. тр. / МЗ РСФСР. Омский мед. ин-т.— Омск, 1971.— № 106.— С. 66—71.

63. *Коваленко В. Л., Самарина Л. П., Зензина Г. А., Хорошилова И. Г.* К клинике бытового отравления граиозаном // *Вопр. с.-х. профпатологии*. Науч. тр. / МЗ РСФСР. Омский мед. ин-т.— Омск, 1971.— № 106.— С. 117—124.

64. *Ковальский В. В.* Геохимическая экология. Очерки.— М. : Наука, 1974.— 300 с.

65. *Козлова С. И., Зелюкова О. Б.* Накопление ртути гидробионтами Дуная // *Пробл. охраны здоровья населения и защиты окружающей среды от хим. вредных факторов*.— Ростов н/Д., 1986.— С. 190—192.

66. *Кольковский П.* Некоторые аспекты загрязнения окружающей среды // *Гигиена и санитария*.— 1986.— № 11.— С. 52—54.

67. *Комаров Ю. М.* Окружающая среда и здоровье населения: Научный обзор.— М. : ВНИИМИ, 1980.— 47 с.

68. *Коришун М. Н.* О предупреждении загрязнения ртутью воздуха помещений комбинатов искусственного волокна // *Гигиена труда*.— 1966.— № 12.— С. 12—22.

69. *Коришун М. Н.* Гигиеническое значение и классификация источников депонированной строительными конструкциями ртути // *Гигиена труда*.— 1970.— № 5.— С. 8—12.

70. *Коришун М. Е.* К вопросу о самостоятельном гигиеническом значении вторичного загрязнения воздуха парами ртути // *Гигиена и санитария*.— 1970.— № 2.— С. 30—34.

71. *Крайнев С. Р., Швец В. М.* Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения.— М., Недра, 1987.— 237 с.

72. *Красовский Г. И., Бутенко П. Г., Васюкович Л. Я.* Материалы к пересмотру гигиенического норматива ртути в воде // *Гигиена и санитария*.— 1981.— № 2.— С. 20—22.

73. *Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. I. Ртуть*.— М. : Медицина, 1979.— 150 с.

74. *Крылова М. И., Венкова Т. А.* Определение ртути в молоке // *Вопр. гигиены питания* (Сб. науч. тр.).— М. 1975.— Вып. III.— С. 126—134.

75. *Крылова А. Н., Рубцов А. Ф.* Сравнительная оценка методов определения ртути в биологических объектах (Обзор. лит.) // *Суд.-мед. экспертиза*.— 1979.— Т. 22, № 2.— С. 42—47.

76. *Кудло Т. А., Кудло К. К.* Влияние техногенных выбросов через атмосферу на содержание тяжелых металлов в почве // *Вестн. Белорус. ун-та*.— 1986.— Сер. 2, № 2.— С. 72—74.

77. *Куринный И. Л.* Некоторые данные о загрязнении жилищ ртутью // *Гигиенические нормативы и оздоровление внешней среды* (Сб. науч. работ.).— К. : Госмедиздат УССР, 1961.— С. 119—122.

78. Курносов В. Н. Материалы к обоснованию предельно допустимой концентрации паров ртути в атмосферном воздухе // Гигиена и санитария.— 1962.— № 1.— С. 7—15.

79. Лазарев Н. В. Определение, задачи и методы геоигиены // Введение в геоигиену.— М.; Л.: Наука, 1962.— С. 32—56.

80. Левина Э. Н. Общая токсикология металлов.— Л.: Медицина, 1972.— 184 с.

81. Лейтес Р. Г. Предельно допустимая концентрация паров ртути в воздухе жилых районов // Предельно допустимые концентрации атмосферных загрязнений.— М.: Госмедиздат, 1952.— Вып. 1.— С. 90—99.

82. Лисецкая Г. С., Овруцкий М. И., Лозовик А. С., Фрегер С. В. Определение микроколичеств ртути в сточных водах с предварительным отделением и концентрированием // Гигиена и санитария.— 1976.— № 11.— С. 109—110.

83. Львов А. Н. Оздоровление условий труда при работе с ртутью.— М.: ГОНТИ, 1939.— 99 с.

84. Мангасарова Р. Т. К вопросу о биологической роли ртути как микроэлемента: Автореф. дис. ... канд. мед. наук.— Ашхабад, 1974.— 19 с.

85. Состояние и перспективы оздоровления условий труда в золотодобывающей промышленности / Ю. А. Маняшин, Я. А. Лещенко, В. С. Рукавишников и др. // Гигиена труда.— 1984.— № 1.— С. 7—10.

86. Машьянов Н. Р. О возможностях дистанционного газортутного метода при геохимических и экологических исследованиях // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях: Тез. докл. к 4-му Всесоюз. совещ. (Ужгород, 10—12 окт. 1988 г.)— М., 1988.— С. 68—69.

87. Медунин А. Е. Влияние научно-технической революции на природу Земли // Вopr. философии.— 1969.— № 3.— С. 23—33.

88. Мелехина В. П. К вопросу гигиенического обоснования санитарного разрыва от предприятий, производящих приборы со ртутью // Гигиена и санитария.— 1960.— № 7.— С. 71—74.

89. Мельников С. М. Металлургия ртути.— М.: Металлургия, 1971.— 472 с.

90. Мельников С. М. Техника безопасности в металлургии ртути.— М.: Металлургия, 1974.— 183.

91. Меркурьева Р. В., Судаков К. В., Бонашевская Т. И., Журков В. С. Медико-биологические исследования в гигиене.— М.: Медицина, 1986.— 272 с.

92. Металлы, Гигиенические аспекты оценки и оздоровления окружающей среды / Под ред. А. А. Каспарова, Ю. Г. Широкова.— М.: НИИГТИПЗ, 1983.— 253 с.

93. Молдавская Г. К. О формировании экологического образования студентов-медиков // Гигиена и санитария.— 1988.— 7.— С. 23—27.

94. Мухтарова Н. Д. Отдаленные последствия патологии нервной системы, вызванной воздействием малых концентраций этилртутихлорида // Гигиена труда.— 1977.— № 3.— С. 4—7.

95. Новиков Ю. В., Плитман С. И., Морозова Л. Ф. Об экономической эффективности гигиенических исследований в области охраны водных ресурсов // Гигиена и санитария.— 1988.— № 2.— С. 40—42.

96. Образцова Б. И., Шорина В. А., Волосатова В. П. Экспрессный метод определения концентраций ртутных паров в воздухе // Гигиена и санитария.— 1974.— № 4.— С. 62—63.

97. Обуховская Т. Д., Каплунова Е. В., Сердюкова А. В. Цинк, кадмий, ртуть и свинец в системе почва — растения // Бюл. Почв. ин-та ВАСХНИЛ.— 1983.— № 35.— С. 27—32.

98. Овруцкий М. М., Козачук Н. С. Определение ртути в природных и сточных водах // Гигиена и санитария.— 1986.— № 4.— С. 59.

99. Овруцкий М. И., Козачук Н. С., Фрегер С. В. Определение ртути в почвах // Гигиена и санитария.— 1981.— № 3.— С. 55—57.

100. Органические соединения ртути: Науч. обзоры сов. лит. по токсичности и опасности хим. веществ / Под ред. Н. Ф. Измерова.— М.: МРПТХВ. Центр междунар. проектов ГКНТ, 1989.— 69 с.

101. Отнелъченко С. В., Дворников А. Г., Горобей В. П., Киселева И. К. Некоторые особенности распределения токсичных и сопутствующих элементов в углях Донбасса и экологическое значение их депиритизации в процессе обогащения // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях: Тез. докл. к 4-му Всесоюз. совещ. (Ужгород, 10—12 окт. 1988 г.)— М., 1988.— С. 82—83.

102. Патин С. А., Морозов И. П. Микроэлементы в морских организмах и экосистемах.— М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1981.— 153 с.

103. Перельман А. И. Геохимия биосферы.— М.: Наука, 1973.— 168 с.

104. Перцовская А. Ф., Паникова Е. Л., Великанов Н. Л. Влияние тяжелых металлов на биосистемы почвы в зависимости от ее pH // Гигиена и санитария.— 1987.— № 4.— С. 14—17.

105. Петросян Н. Г., Гранкина А. А. О физиологическом содержании ртути // Суд.-мед. экспертиза и криминалистика на службе следствия.— Ставрополь, 1971.— Вып. 6.— С. 427—428.

106. Петухов А. Г., Коновалов А. М. Опыт работы Клинского термометрового завода по оздоровлению атмосферного воздуха // Гигиена и санитария.— 1973.— № 10.— С. 98—99.

107. Поведение ртути и других тяжелых металлов в экологических системах. Аналитический обзор: В 3 т.— Новосибирск, 1989.

108. Проблемы образования в области окружающей среды: Материалы Межправительств. конф. по образованию в обл. окружающей среды. (Тбилиси, 14—26 окт. 1977 г.)— М., 1979.— 279 с.

109. Пугачевич П. П. Работа со ртутью в лабораторных и производственных условиях.— М.: Химия, 1972.— 320 с.

110. Ревич Б. А. Гигиеническая оценка содержания некоторых химических элементов в биосубстратах человека // Гигиена и санитария.— 1986.— № 7.— С. 59—62.

111. Ревич Б. А., Саев Ю. Е., Смирнова Р. С. Использование метода геохимического картирования в гигиенических исследованиях // Гигиена и санитария.— 1981.— № 7.— С. 48—50.

112. Ртуть: Науч. обзоры сов. лит. по токсичности и опасности хим. веществ / Под ред. Н. Ф. Измерова.— М., МРПТХВ, Центр междунар. проектов ГКНТ, 1980.— 14 с.

113. Сауков А. А., Айдиньян Н. Х., Озеров Н. А. Очерки геохимии ртути.— М. : Наука, 1972.— 336 с.
114. Саноцкий И. В. Стратегия и тактика противохимической защиты биосферы // Пробл. охраны здоровья населения и защиты окружающей среды от хим. вредных факторов : Тез. докл. I Всесоюз. съезда токсикологов.— Ростов н/Д, 1986.— С. 16—20.
115. Саноцкий И. В., Авхименко М. М., Иванов В. Н. О состоянии потомства двух поколений, полученного от самцов, подвергнутых воздействию паров ртути, а также ртути в сочетании с ионизирующим излучением // Токсикология новых промышленных химических веществ.— М. : Медгиз, 1967.— Вып. 9.— С. 71—78.
116. Сердюк А. М. Здоровье человека, научно-технический прогресс и окружающая среда // Вопр. философии.— 1983.— № 6.— С. 107—114.
117. Сивков И. Г. // Материалы к итоговой науч.-практ. конф. Пермского обл. отд-ния Всерос. науч. мед. об-ва гигиенистов и санитарных врачей.— Пермь, 1965.— С. 76—77.
118. Сидоренко Г. И. Фундаментальные исследования в гигиене // Гигиена и санитария.— 1979.— № 9.— С. 3—8.
119. Сидоренко Г. И. Основные итоги и главные задачи научных исследований по проблеме «Научные основы гигиены окружающей среды» // Современные проблемы гигиены: Материалы XVIII Всесоюз. съезда гигиенистов и санитарных врачей (сб. тр.).— Вильнюс : Медицина, 1984.— С. 26—48.
120. Соннов Ю. Г., Петухов А. Г., Брауде М. З. Определение удельных валовых выделений паров ртути при изготовлении термометров // Гигиена и санитария.— 1976.— № 11.— С. 112—113.
121. Степанов А. С. // Очистка газовых выбросов от ртути и ее соединений. Обзор. информ. Сер. ХМ—14 «Пром. и санитарная очистка газов».— М., 1980.— 27 с.
122. Стефанов А. Ф., Воронова Т. Д., Боряченко Е. К. Миграция микро- и токсикоэлементов в биологической цепи // Технология и техника мясной и молочной пром-сти на основе современных исслед.— М. : МГИММП, 1981.— С. 96.
123. Тарасенко Ю. А. Адсорбционные методы очистки промышленных выбросов от ртути // Роль химии в охране окружающей среды : Сб. науч. тр.— К., 1983.— С. 197—205.
124. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде : Пер. с англ.— М. : Мир, 1982.— 281 с.
125. Трахтенберг И. М., Коршун М. Н., Ерогов В. П. Ртуть во внешней среде и ее значение в аспекте геогигиены // Проблемы геогигиены.— Баку, 1968.— С. 47—60.
126. Трахтенберг И. М., Коршун М. Н. Закономерности процессов сорбции — десорбции ртути строительными конструкциями как основа для разработки комплекса демеркуризационных мероприятий // Гигиена труда, 1971.— № 7.— С. 70—73.
127. Трахтенберг И. М., Коршун М. Н. Современные гигиенические аспекты загрязнения среды обитания человека ртутью и ее органическими соединениями (обзор лит.): Экспресс-информ. «Гигиена внешней среды».— М., 1973.— № 9.— 23 с.
128. Трахтенберг И. М., Коршун М. Н. К обоснованию среднесменных предельно допустимых концентраций высококумуля-

- тивных вредных веществ в воздухе рабочей зоны // Гигиена труда.— 1978.— № 1.— С. 14—19.
129. Трахтенберг И. М., Коршун М. Н. Ртуть и ее соединения // Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I—IV групп : Справ. изд. / Под ред. В. А. Филова.— Л. : Химия, 1988.— С. 170—188.
130. Санитарная стандартизация неорганических соединений ртути в воздухе рабочей зоны / И. М. Трахтенберг, М. Н. Коршун, Л. Г. Терещенко и др. // Гигиена труда.— 1984.— № 12.— С. 37—41.
131. Уваренко А. Р. Сравнительная гигиеническая оценка условия труда при работе с этил- и фенилртутными пестицидами // Врачебное дело.— 1969.— № 9.— С. 104—107.
132. Утебекова Н. Р., Шишова П. И., Явель Л. Я., Яшкина Н. Я. Опыт борьбы с ртутной опасностью на предприятиях г. Алма-Аты // Тр. Каз. ин-та эпидемиологии, микробиологии и гигиены.— Алма-Ата, 1958.— Вып. 3.— С. 509—512.
133. Фидельман Ф. М. Загрязнение воздуха ртутью при использовании серной кислоты // Гигиена труда.— 1965.— № 7.— С. 56.
134. Фуров В. З. Ртуть в атмосфере некоторых регионов // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях : Тез. докл. к 4-му Всесоюз. совещ. (Ужгород. 10—12 окт. 1988 г.).— М., 1988.— С. 112—113.
135. Цейрко И. П. Ртутьсодержащие соединения в кормах, органах и тканях овец, выращенных в Марийской АССР // Технология и техника мясной и молочной пром-сти на основе современных исслед.— М. : МИТММП, 1981.— С. 108—110.
136. Цемко В. П., Паламарчук И. К., Залуцкая Г. М. Процессы расщепления микроэлементов в почках // Микроэлементы в окружающей среде.— К. : Наук. думка.— 1980.— С. 31—35.
137. Влияние тепловой обработки на содержание остаточных количеств ртутьорганических соединений при производстве мясопродуктов / К. П. Чаенко, В. Н. Жуленко, А. А. Астраханцев и др. // Человек и окружающая среда : Тез. докл. / Респ. науч.-техн. конф.— Тбилиси, 1983.— С. 116.
138. Чегринцев Г. Я. Загрязнение внешней среды ртутьорганическими пестицидами // Остатки пестицидов : Тр. II Всесоюз. совещ. по исслед. остатков пестицидов и профилактике загрязнения ими продуктов питания, кормов и внешней среды.— Таллин, 1971.— С. 373—376.
139. Шевцова Э. И. Влияние хронической ртутной интоксикации матерей на состояние здоровья детей // Вопр. акушерства, гинекологии и педиатрии.— Ташкент : МЗ УзССР, Ташк. мед. ин-т, 1975.— С. 125—128.
140. Штенберг А. И., Торчинский А. М. Ртуть и внешняя среда (проблемы гигиены питания) // Вестн. АМН СССР.— 1975.— № 3.— С. 64—69.
141. Экологические проблемы в современной идеологической борьбе / — К. : Политиздат Украины, 1984.— 275 с.
142. Экономические проблемы рационального природопользования и охраны окружающей среды / Под ред. Т. С. Хачатурова.— М. : Изд-во Моск. ун-та, 1982.— 198 с.

143. Airey D. Contributions from coal and industrial materials to mercury in rain, rainwater and snow // *Sci. Total Environ.*—1982.—Vol. 25, No. 1.—P. 19—40.
144. Angle C. R., McIntire M. S. Lead, Mercury and cadmium toxicity in children // *Paediatrician.*—1977.—Vol. 6, No. 3—5.—P. 204—225.
145. Astier—Dumas M., Cumont G. Consommation hebdomadaire de poisson et teneur du sang et des cheveux en mercure en France // *Med. et nutr.*—1975.—V. 11, N 2.—P. 135—139.
146. Azzaria L. M., Habashi F. Mercury pollution. An examination of some basis issues // *C. I. M. Bulletin.*—1976.—Vol. 69, No. 772.—P. 101—107.
147. Berlin M., Carlson J., Norseth T. Dosedependence of methylmercury metabolism // *Arch. Environ. Hlth.*—1975.—Vol. 30, No 6.—P. 307—313.
148. Bozsai G. Vízisztítólátó használt vegyszerből származó higanyszennyezés // *Hidrol. Köz.*—1981.—V. 61, N. 5.—P. 217—219
149. Bunch S. E., Jacobs Ph. Health costs due to environmental hazards. A survey of estimates // *J. Environm. Hlth.*—1979.—Vol. 41, No. 5.—P. 267—269.
150. Bressa G. Mobilità del metalli tossici presenti nell'ambiente // *Ambiente risor. salute.*—1986. V. 9, N 56.—P. 28—31,4.
151. Campanella L., Cardarelli E., Ferri T., Petronio B. M. Mercury removal from petrochemical wastes // *Water Res.*—1986.—Vol. 20, No. 1.—P. 60—63.
152. Capelli R., Minganti V., Semino G., Bertarini W. The presence of mercury (total and organic) and selenium in human placenta // *Sci. Total Environ.*—1986.—Vol. 48, No 1—2.—P. 69—79.
153. Cenci G., Morozzi G., Caldini G. Injury by heavy metals of *Escherichia coli* // *Bull. environm. Contam. Toxicol.*—1985.—Vol. 34, No. 2.—P. 188—195.
154. Clausen T. Problematische Schwermetallgrenzwerte in der Umweltzeichenverabreichlinie für Komposterezeugnisse // *Forum Stadtehyg.*—1988.—Bd. 39, Nr. 3.—S. 106—108.
155. Cohen G. B., Schrier E. E. Removal of mercury from fish protein concentrate by sodium borohydride reduction // *J. Agr. and Food Chem.*—1975.—Vol. 23, No. 4.—P. 661—665.
156. Compeau G., Bartha R. Effects of sea salt anions on the formation and stability of methylmercury // *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.*—1983.—Vol. 31, No. 4.—P. 486—493.
157. Dobrowolski Y. W. Mercury pollution of the natural environment and epidemiology of leukemia // *Med. Biol. Environ.*—1982.—Vol. 10, No. 2.—P. 39.
158. Eichholz G. G., Petelka M. F., Kury R. L. Migration of elemental mercury through soil from simulated burial sites // *Water Res.*—1988.—Vol. 22, No. 1.—P. 15—20.
159. Ferrara R., Maserti B., Petrosino A., Bargagli R. Mercury levels in rain and air and the subsequent washout mechanism in a Central Italian Region // *Atmospheric Environm.*—1986.—Vol. 20, No. 1.—P. 125—128.
160. Fukuzaki N. Mercury dynamics in the atmosphere // *J. Chem. Soc. Jap., Chem. and Ind. Chem.*—1986.—Vol. 1, No. 5.—P. 720—726.
161. Godbold D. L., Hutterman A. The uptake and toxicity of mer-

- cury and lead to spruce (*Picea abies karst.*) seedlings // *Water, Air and Soil Pollut.*—1986.—Vol. 31, No. 1—2.—P. 509—515.
162. Gouer R. A., Bachmann J., Clarkson Th. W. et al. Potential human health effects of acid rain: report of workshop // *Environ. Health Perspect.*—1985. Vol. 60, May.—P. 355—368.
163. Hasan M. Z. Heavy metals in Man's environment — Indian scenario // *Heavy Metals Environ. Int. Conf., Athens, Sept., 1985.*—Vol. 2., Edinburgh, 1985.—P. 265—267.
164. Hattula Tuulikki, Rahola T. The distribution and biological half-time of ^{203}Hg in the human body according to a modified whole—body counting technique // *Environ. Physiol. and Biochem.*—1975.—Vol. 5, No. 4.—P. 252—257.
165. Hirano M., Mitsumori K., Maita K., Shiraso V. Renal tumor induced by methylmercury chloride in ICR mice // *J. toxicol Sci.*—1983.—Vol. 8, No. 4.—P. 326—329.
166. Hiraoka Yukio, Ishizawa Shoichi, Kamada Toshihiko, Okuda Hisanori. Acute toxicity of 14 different kinds of metals affecting medaka fish // *Hyroschima J. Med. Sci.*—1985.—Vol. 34, No. 3.—P. 327—330.
167. Hirota T. Port of Minamata mercury pollution and its remedy // *Port. a. Harbours.*—1982.—Vol. 27, No. 4.—P. 10—11.
168. Imura Nobumasa, Pan Shoe—Kung, Ukita Tyunosin Methylation of inorganic mercury with liver homogenate of tuna fish // *Chemosphere.*—1972.—Vol. 1, No. 5.—P. 197—201.
169. Iverfeldt A., Lindquist O. Atmospheric oxidation of elemental mercury by ozone in the aqueous phase // *Atmospheric Environm.*—1986.—Vol. 20, No. 8.—P. 1567—1573.
170. Jacobs G. Bestimmung des organisch—gebundenen Hg im Fisch // *Inform. Fischwirt.*—1976.—Bd. 23, Nr. 1.—S. 26—28.
171. Jernelov A. A new biochemical pathway for the methylation of mercury and some ecological implications // *Mercury, Mercurials and Mercaptans.*—Springfield, 111, 1973.—P. 315—324.
172. Johnson D. L., Braman R. S. Distribution of atmospheric mercury species near ground // *Environ. Sci. and Technol.*—1974.—Vol. 8, No. 12.—P. 1003—1009.
173. Jukes T. H. Fact and fancy in nutrition and food science // *J. Amer. Diet Assoc.*—1971.—Vol. 59, No. 3.—P. 203—211.
174. Junghans R. P. A review of the toxicity of methylmercury compounds with application of occupational exposures associated with laboratory uses // *Environ. Res.*—1983.—Vol. 31, No. 1.—P. 1—31.
175. Klein S., Waggon H., Macholz R. Quecksilber als umweltrelevanter Schandstoff — Vorkommen, Stoffwechsel, Toxicology, Transformationsreaktionen, Analytik // *Fortschrittsber. Landwirt. und Nahrungsgüterwirt.*—1985.—Bd. 23, Nr. 12.—59 S.
176. Knocke W. R., Hemphill Z. H. Mercury (II) sorption by waste rubber // *Water Res.*—1981.—Vol. 15, No. 2.—P. 275—282.
177. Kosta L., Byrne A. R. et al. Studies on the uptake, distribution and transformations of mercury in living organisms in the Indrija region and comparative areas // *Vestn. Slov. kem. drust.*—1974(1975)—T. 21, N 1—2.—S. 49—75.
178. Kudo A., Hagase H., Ose Vo. Proportion of methylmercury to the total amount of mercury in river waters in Canada and Japan // *Water Res.*—1982.—Vol. 16, No. 6.—P. 1011—1015.

179. *Leschber R.* Schwermetallproblematik bei der landwirtschaftlichen Verwertung von Klarschlamm // Zbl. Bakt. Hyg. 1. Abt. Orig. B.—1983.—Bd. 178.—S. 186—193.
180. *Lindberg S. E.* Mercury partitioning in a power, plant plume and its influence on atmospheric removal Mechanisms // Atmosph. Environ.—1980.—Vol. 14, No. 2.—P. 227—231.
181. *Liston P., Maher W.* Trace metal export in urban runoff and its biological significance // Bull. environm. Contam. Toxicol.—1986.—Vol. 36, No. 6.—P. 900—905.
182. *Lodenius M., Tulisalo E.* Environmental mercury contamination around a chlor-alkali plant // Bull. environm. Contam. Toxicol.—1984.—Vol. 32, No. 4.—P. 439—444.
183. *Mahwar R. S.* Mercury losses in a chlor-alkali plant. An assessment // Chem. Age India.—1984.—Vol. 35, No. 9.—P. 603—608.
184. *Matsumoto N., Spindle A.* Sensitivity of early mouse embryos to methylmercury toxicity // Toxicol. appl. Pharmacol.—1982.—Vol. 64, No. 1.—P. 108—117.
185. *May K., Ahmed R., Reisinger K., Torres B., Stoeppler M.* Studies on the biochemical cycle of mercury. III. Methylmercury contents in specimens of the environmental specimen bank and other materials // Heavy Metals Environ. Int. Conf., Athens Sept. 1985.—Vol. 2.—Edinburgh, 1985.—P. 513—515.
186. *Mercury* // PROMT.—1979.—Vol. 71, No. 1.—P. 55.
187. *Mercury in the environment.* An epidemiological and toxicological appraisal / L. Friberg, D. Vostal // CRC Press., 1974.—215 p.
188. *Metabolic data for mercury* // Annals of the ICRP.—1980.—Vol. 4, No. 3—4.—P. 59—63.
189. *Miettinen J. K., Rahola T., Hattula T., Rissanen K., Tillander M.* Elimination of ²⁰³Hg—methylmercury in man // Ann. Clin. Res.—1971.—Vol. 3, No. 2.—P. 118—122.
190. *Miettinen J. K.* Methylmercury as a food chain problem in Scandinavia // 1. Int. Symp. «Aspekte chem. und toxikol. Beschaffenheit der Umwelt». DOC. Darmstadt—Stuttgart. S. 155—156.
191. *Nicholson J. K., Osborn D.* Kidney lesions in juvenile starling sturnus vulgaris fed on a mercury-contaminated synthetic diet // Environ. Pollut.—1984.—A. 33.—No. 3.—P. 195—206.
192. *Ohta Yukiko.* Comparison of mercury contents in human hair from different individuals by activation analysis // Analysis.—1978.—Vol. 6, No. 4.—P. 145—147.
193. *Okouchi S., Sasaki S.* Volatilization rate of mercury from natural water bodies to the atmosphere // Proc. 3 Pacif. Chem. Eng. Congr., Seoul, May, 8—11, 1983.—Vol. 4.—P. 346—351.
194. *Piikivi L.* Health effects of low level, long-term exposure to mercury (Hg⁰) vapour // Acta Universitatis Oulensis. Series D. Medica, 183.—Oulu, 1989.—92 p.
195. *Platanistioti S., Verriopoulos G.* Effects of mercury on palaeomon elegans: effects of mortality and moulting // Heavy Metals Environ. Int. Conf., Athens.—Sept., 1985, Vol. 2.—Edinburgh, 1985.—248 p.
196. *Pohl K. D., Essr R.* Quecksilber in Hausmüll und Klärschlamm // Umweltmagazin.—1986.—Nr. 4.—S. 24—26, 28.

197. *Purdi A., Bunta S.* Srupeni elementi v kozmetičnih sredstvih. Poskus opredelitve njihovih najvisjih dopustnih koncentracij // Farm. vestn.—1979.—T. 30, N. 4.—S. 237—251.
198. *Registry of toxic effects of chemical substances 1985—1986 edition* / D. V. Sweet // U. S. Department of the Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health.—Cincinnati, Ohio 45226, April 1987.
199. *Saeki M., Kunii K., Seki T., Sugiyama K.* Metal burden of urban lichens // Environm. Res.—1977.—Vol. 13, No. 2.—P. 256—266.
200. *Schroeder W. H., Jackson R.* An instrumental analytical technique for vapour—phase mercury species in air // Chemosphere.—1984.—Vol. 13, No. 9.—P. 1041—1051.
201. *Seeger R.* Quecksilber in jungen und alten Pilzen und in Pilzsporen // Dtsch. Lebensmittel-Rdsch.—1977.—Bd. 73, Nr. 5.—S. 160—162.
202. *Sexton D. J., Powell K. E., Liddle G. J., Smrek A.* A nonoccupational outbreak of inorganic mercury vapour poisoning // Arch. environm. Hlth.—1978.—Vol. 33, No. 4.—P. 186—191.
203. *Siegel B. Z., Lasconia M., Yaeger E.* The phytotoxicity of mercury vapor // Water, Air and Soil Pollut.—1984.—Vol. 23, No. 1.—P. 15—24.
204. *Suzuki T., Hongo T., Yamamoto R.* Hair mercury levels of Japanese women during the period 1881 to 1968 // J. appl. Toxicol.—1984.—Vol. 4, No. 2.—P. 101—104.
205. *Tamashiro H., Fukutomi K., Eun Sul Lee.* Methylmercury exposure and mortality in Japan: a life table analysis // Arch. environm. Hlth.—1987.—Vol. 42, No. 2.—P. 100—107.
206. *Tamir A., Bornstein B., Behar M., Chwat M.* Mercury poisoning from an unsuspected source // Brit. J. Industr. Med.—1964.—Vol. 21, No. 4.—P. 293—303.
207. *Tamura R., Fukuzaki N., Hirano Y., Mizushima Y.* Evaluation of mercury contamination using plant leaves and humus as indicators // Chemosphere.—1985.—Vol. 14, No. 11—12.—P. 1687—1693.
208. *Thompson G. A., Watling R. J.* Comparative study of the toxicity of metal compounds to heterotrophic bacteria // Bull. environm. Contamin. Toxicol.—1984.—Vol. 33, No. 1.—P. 114—120.
209. *Thornton I., Abrahams P.* Historical records of metal pollution in the environment // Changing Metal Cycle and Human Health. Rept Dahlem Workshop, Berlin, March 20—25, 1983.—Berlin e. a., 1984.—P. 7—25.
210. *Trachtenberg I. M.* Zur hygienischen Normierung des Gehaltes von Quecksilberdämpfen in der Luft der Arbeitszone // Z. ges. Hyg.—1977.—Nr. 7.—S. 437—440.
211. *Westermarck T., Odlsjö T., Johnels A. G.* Mercury content of bird feathers before and after Swedish ban on alkyl mercury in agriculture // AMBIO.—1975.—Vol. 4, No. 4.—P. 87—92.
212. *Westö G., Ohlin B.* Metylkviksilberhalter i fiskoch skaldjur, februari 1971 — juli 1974 // Vår föda.—1975.—V. 27, No. 1.—S. 4—13.
213. *Wood J. M., Goldberg E. D.* Impact of metals on the biosphere.

re // Phrys. and Chem. Sci. Res. Rept.— 1977.— Vol. 2.— P. 137—153.

214. World Health Organization Meeting of investigators for the international study of normal values for toxic substances in the human body // WHO / Occ. Hlth.— Geneva, 4—8 October 1965.— 66.39.

215. Yamamoto R., Naganuma A., Imura N., Suzuki T., Hisamichi S. Inorganic mercury formation from methylmercury by organs of mouse, in vitro // J. toxicol. Sci.— 1983.— Vol. 8, No.4.— P. 328—329.

Монография

*Трахтенберг Исаак Михайлович,
Коршун Михаил Николаевич*

**Ртуть и ее соединения
в окружающей среде
[гигиенические и экологические аспекты]**

Обложка художника *Н. Г. Колбасовой*
Художественный редактор *А. Д. Бондаренко*
Технический редактор *С. Л. Светлова*
Корректор *И. Е. Бей*

ИБ № 13634

Сдано в набор 29.09.89. Подписано в печать 08.08.90.
Формат 84×108/32. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная.
Высокая печать. Усл. печ. л. 12,18. Усл. кр.-отт. 12,44. Уч.-
изд. л. 13,15. Тираж 1000 экз. Изд. № 8193. Заказ № 79.
Цена 2 р. 60 к.

Издательство «Выща школа»,
252054, Киев-54, ул. Гоголевская, 7

Книжная фабрика им. М. В. Фрунзе,
310057, Харьков-57, ул. Донец-Захаржевского, 6/8

2 р. 60 к.

