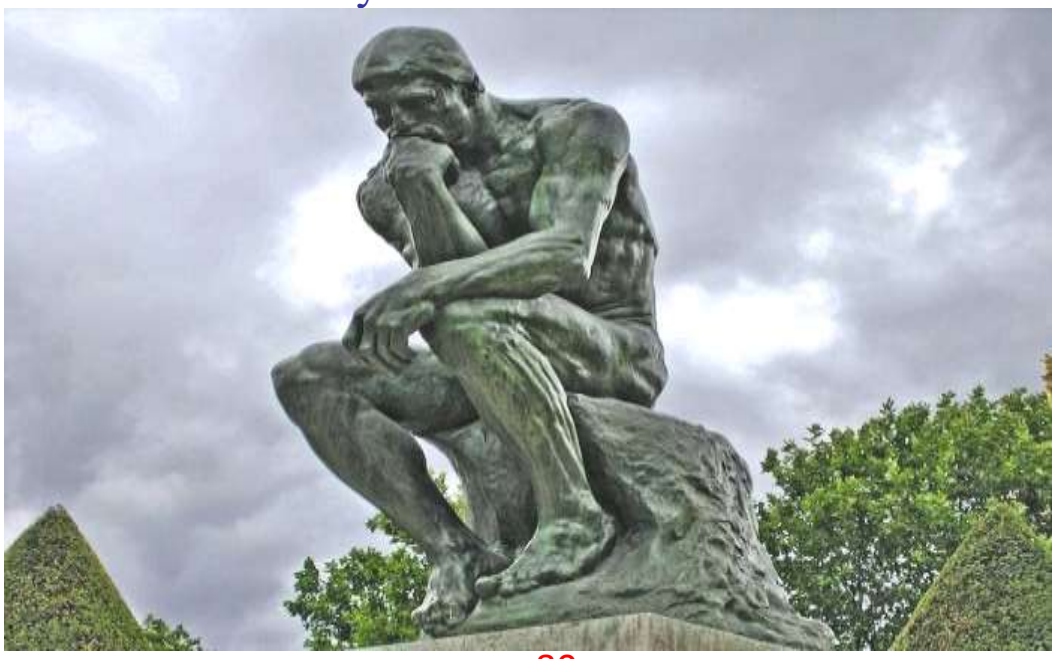
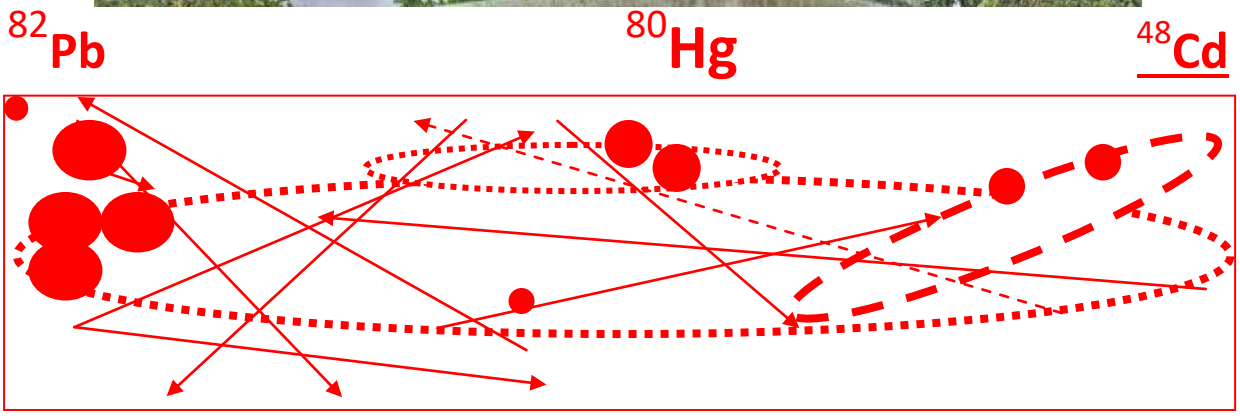
Н.В. МИКШЕВИЧ, Л.А. КОВАЛЬЧУК

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

(*СВИНЕЦ, РТУТЬ, КАДМИЙ*)

учебное пособие





Екатеринбург 2020

Министерство просвещения Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет»
Институт экологии растений и животных УрО РАН

Н. В. МИКШЕВИЧ, Л. А. КОВАЛЬЧУК

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА (*СВИНЕЦ, РТУТЬ, КАДМИЙ*)

Учебное пособие

Екатеринбург 2020

УДК 539.1(075.8)
ББК В383я7
М59

Рекомендовано Ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный педагогический университет» в качестве *учебного* издания (Решение № 56 от 28.09.2020)

Авторы:
Микшевич Н. В., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности УрГПУ, канд. хим. наук
Ковальчук Л. А., главный научн. сотр. ИЭРиЖ УрОРАН, д-р биол. наук

Рецензенты:
Юшков Б. Г., д-р мед. наук, профессор, академик РАН
Никифоров А. Ф., д-р техн. наук, профессор, академик МАНЭБ

Микшевич, Н. В.
М59 Тяжелые металлы и экологическая безопасность человека (свинец, ртуть, кадмий) : учебное пособие / Н. В. Микшевич, Л. А. Ковальчук ; Уральский государственный педагогический университет ; Институт экологии растений и животных УрО РАН. – Екатеринбург : [б. и.], 2020. – 92 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-7186-1699-6

Экологическая безопасность человека является сложной сферой, требующей широкого спектра знаний во многих областях науки и техники, начиная, применительно к тяжелым токсичным металлам, с их химических особенностей, специфики воздействия на организм человека и заканчивая сложными процессами поведения в окружающей среде, основанными на конкретных физических явлениях и закономерностях, изученных еще не в полной мере.

Учебное пособие подготовлено в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов 44.00.00 Образование и педагогические науки уровня бакалавриата и призвано стать базой для понимания основных процессов, определяющих поведение в окружающей среде и влияние на организм человека таких приоритетных токсикантов, как свинец, ртуть и кадмий. Пособие предназначено для студентов педагогических вузов, осваивающих дисциплину по безопасности жизнедеятельности.

Рисунки заимствованы из источников, указанных в списке использованной литературы.

УДК 539.1(075.8)
ББК В383я7

ISBN 978-5-7186-1699-6

© Микшевич Н. В., Ковальчук Л. А., 2020
© ФГБОУ ВО «УрГПУ», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……... 4

1. Свинец (Pb)……. 9
1.1. Источники свинца и его потребители…… 9
1.2. Процессы переноса свинца в природных средах…….. 13
1.3. Воздействие на организм человека……. 20
1.4. Симптомы отравления свинцом…….. 23
1.5. Нормирование содержания свинца…… 24
1.6. Профилактика свинцовой интоксикации……... 27

2. Ртуть (Hg)…… 31
2.1. Использование ртути человеком……. 31
2.2. Нахождение в природе……. 34
2.3. Потоки ртути в биосфере……. 37
2.4. Воздействие ртути на организм человека…….. 44
2.5. Профилактика ртутной интоксикации……... 52
2.6. Нормирование безопасных концентраций ртути…….. 54
2.7. Демеркуризация…… 56

3. Кадмий (Cd)…… 63
3.1. Использование кадмия человеком…….. 64
3.2. Источники поступления кадмия в окружающую среду…... 65
3.3. Поведение кадмия в окружающей среде…… 66
3.4. Влияние кадмия на организм человека…….. 76
3.5. Профилактика кадмиевой интоксикации……... 82

Заключение……. 85

Литература……. 86

Глоссарий…… 89

ВВЕДЕНИЕ

Характер развития общества, приведший к научно-технической революции со всеми ее этапами, и сформированный к настоящему времени тип экономики в значительной мере определили ситуацию, сложившуюся в различных средах и компонентах биосферы, которая является местом, средством и способом существования человека как биосоциального существа. Проблема связана, главным образом, с исчерпанием ресурсов и с изменением качества природных сред в результате их загрязнения, что ставит под угрозу существование человека как вида. Важную роль в этом играют поставляемые в окружающую среду различными технологическими процессами загрязнители, среди которых особое место принадлежит таким **тяжелым металлам** (ТМ), как свинец, ртуть и кадмий, имеющим наибольшее токсикологическое значение. Источниками их поступления в окружающую человека среду также являются различные сферы жизнедеятельности, где эти элементы или их соединения используются человеком. Сюда входят промышленные выбросы и отходы, продукты сгорания ископаемого топлива, выбросы отработанных газов автомобильного и других видов транспорта, используемые в сельском хозяйстве удобрения и пестициды и т. д. Необходимо отметить особое место среди поставщиков загрязнений (в том числе и ТМ) энергетику, черную и цветную металлургию, горнодобывающие предприятия и др. При этом традиционная энергетика, основанная на сжигании органического ископаемого топлива, дает наиболее масштабные выбросы по сравнению с металлургическими предприятиями.

В природной среде естественно присутствуют все элементы и многие из них участвуют в различных процессах, в том числе с участием живой материи, формируя биогеохимические циклы, куда они вовлекаются за счет поступления из минеральных пород в процессах почвообразования и за счет вулканических выбросов в атмосферу, выветривания горных пород, природных пожаров и т. д. (рис. 1).

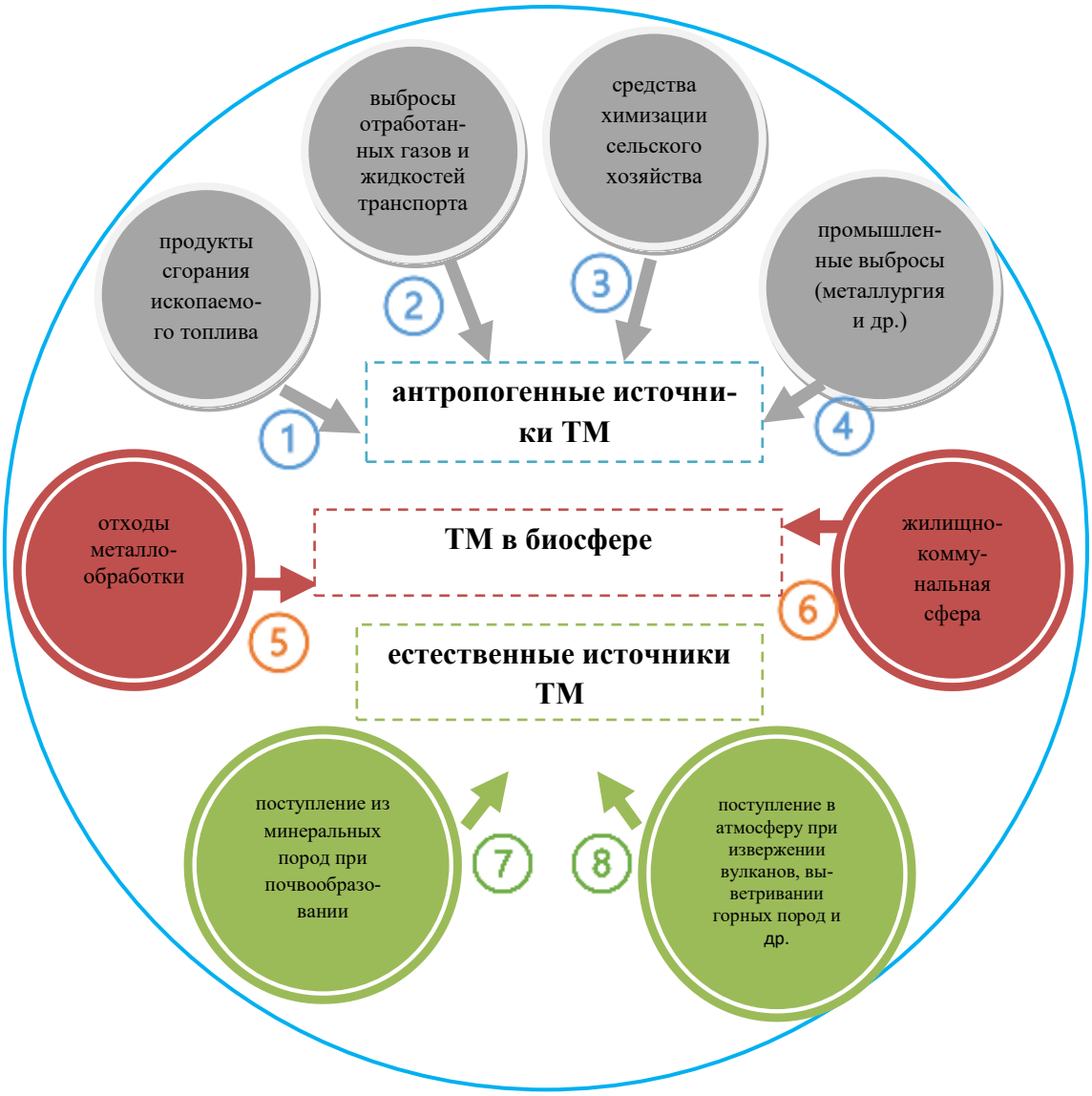


Рис. 1. Основные источники поступления тяжелых металлов в биосферу

Максимальное количество металлов перемещается в глобальном биологическом круговороте, который осуществляется благодаря фотосинтезу растительных организмов суши и гидросферы, разрушению отмирающей органики редуцентами водной среды и поверхностного слоя суши. На суше в процессе участия тяжелых металлов в биологическом круговороте происходит селективная дифференциация их масс, причем пропорциональность между содержанием металлов в земной коре и их относительной интенсивностью поглощения растительностью отсутствует. Для большинства тяжелых металлов коэффициент биологического поглощения растениями суши ($К_б$) не превышает 10. В силу селективного поглощения металлов в растительной биомассе ощутимо меняются их соотношения по

отношению к таковым в земной коре. Круговорот и дифференциация металлов, реализуемые продуцентами гидросферы, имеют свою специфику. Суммарные годовые количества металлов, участвующие в биологических круговоротах суши и гидросферы, сопоставимы, но соотношение металлов в них различно. Так, глобально растительностью суши захватывается больше свинца и марганца, а фотосинтезирующими организмами гидросферы – больше кобальта и молибдена.

Речной сток выносит с суши в океан значительные массы металлов, находящихся в растворенном состоянии и в виде взвеси. В водную миграцию наиболее интенсивно вовлекаются растворимые формы тяжелых металлов, о чем свидетельствуют значения коэффициента их водной миграции (*КВ*), которые, например для ртути > 10, а для молибдена, кадмия и меди в пределах от 2 до 9. В виде взвешенных форм выносится 97-98% общей массы выносимых с речным стоком металлов, в том числе тяжелых. В океаническую среду значительные количества металлов, находящихся в виде тонкодисперсных взвесей, попадают в результате осаждения из атмосферных потоков. Обратный процесс переноса водорастворимых форм металлов с океанической поверхности на сушу недостаточно изучен, но вполне понятно, что он значительно меньше, что обусловливает разомкнутость циклов металлов в системе суша-океан. Особенно с учетом того, что в результате седиментации взвесей происходит накопление тяжелых металлов в осадках, служащих для них депо, откуда их извлечение затруднено, но возможно, например, в результате тектонических процессов.

Металлы в атмосферный воздух поступают также в виде газообразных органических соединений, выделяемых высшими растениями и бактериями. В последнем случае важную роль играют процессы биометилирования металлов. Все формы металлов, находящиеся в воздушной среде, вымываются из нее атмосферными осадками.

В биосферном круговороте поверхностный слой литосферы (педосфера) играет в движении масс тяжелых металлов глобальную регулирующую роль. В ходе преобразования органического вещества металлы, поступившие в почву, с одной стороны входят в состав подвижных комплексных органических со-

единений, а с другой – прочно фиксируются устойчивыми компонентами гумуса. Так, наряду с другими металлами, устойчивые комплексы с гумусовыми кислотами образуют ртуть, свинец и кадмий. Следует отметить, что тесная взаимосвязь циклов миграции тяжелых металлов и регулирующая роль педосферы служат базой высокой устойчивости биосферы по отношению к дополнительным потокам металлов как природного, так и техногенного происхождения.

Относительно роли человека, являющегося естественным участником этих процессов, следует отметить, что многие металлы участвуют в процессах обеспечения его жизнедеятельности, находясь на уровне естественных концентраций порядка $n\times10^{-2}$ – $n\times10^{-5}$%. В этом случае их называют микроэлементами или следовыми элементами. В других случаях ТМ, в силу своего естественного нахождения в окружающей среде, присутствуют в микроколичествах в различных организмах, в том числе и в организме человека, не выполняя определенной биологической функции. Так, для ртути и свинца отмечают отсутствие биологической роли, а для кадмия она не выяснена. Тем не менее, в силу их естественного глобального присутствия, их ежедневный естественный прием с пищей оценивают для ртути в 0,004-0,002 мг, для свинца 0,06-0,5 мг, а для кадмия 0,007-3 мг. Это обусловливает их содержание в организме среднего человека весом 70 кг на уровне 13, 120 и 50 мг соответственно. Для указанных ТМ характерна высокая **токсичность,** определяемая их химическими свойствами. Так, свинец по степени воздействия на живые организмы относится к классу высокоопасных веществ наряду с такими металлами, как кадмий и ртуть.

Учитывая сказанное выше, а также продолжающееся масштабное производство и широкое использование ртути, свинца и кадмия, способствующее увеличению их концентрации в окружающей человека среде, и, следовательно, росту масштабов негативного влияния этих ТМ на все звенья различных экологических систем и, это главное, в конечном итоге, на человека, со всей остротой встает вопрос обеспечения экологической безопасности последнего, в том числе и от воздействия ТМ. Важную, если не приоритетную, роль в этом вопросе играют экологическое воспитание, образование и просвещение, для которых

образовательные учреждения, а именно школа и педагогические высшие учебные заведения, являются эффективной базовой площадкой, которая позволяет непрерывно в течение длительного периода обучения формировать личность высокого уровня экологической культуры, без чего невозможно эффективное обеспечение экологической безопасности.

1. СВИНЕЦ (Pb)

Свинец (Pb), Plumbum – токсичный химический элемент главной подгруппы четвёртой группы шестого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с порядковым номером 82 и атомной массой 207,2. Легкоплавкий, мягкий, пластичный синевато-серый металл. Его плотность равна 11,34 г/см3, температура плавления 237,4ºС, температура кипения 1745ºС. При температуре 7,26 К становится сверхпроводником. Достаточно летуч уже при 700^0С, что важно в плане охраны здоровья работников и окружающей среды на предприятиях по добыче и переработке свинца, использующих пирометаллургические технологии. На воздухе покрывается пленкой оксида, предохраняющей металл от дальнейшего окисления. Свинец может иметь две степени окисления: +2 и +4. В обоих случаях он может проявлять металлические и неметаллические свойства. Образует с ртутью жидкую амальгаму при малых содержаниях свинца.

В земной коре содержание свинца составляет $1{,}6x10^{-3}$% где он концентрируется в таких минералах, как галенит, англезит, церуссит, образуя месторождения. Суммарные запасы свинца на Земле составляют порядка 100 млн. тонн и представлены в основном сульфидами и сульфатами. Содержание свинца в атмосфере находится в пределах $2x10^{-9}$–$5x10^{-4}$ мкг/м^3. В окружающую среду эмиссия свинца из природных источников, таких как вулканические выбросы, почвенная и метеоритная пыль, аэрозоли с морской и океанической поверхностей, оценивается специалистами в 230 тысяч тонн в год.

1.1. Источники свинца и его потребители

Свойства свинца исторически способствовали увеличению объемов его добычи и использованию в различных сферах деятельности человека, что обусловило масштабное загрязнение этим металлом окружающей среды и, в силу его токсичности, негативное воздействие на человека. На настоящее время сферы получения и использования свинца сформировали широкий спектр источни-

ков его поступления в атмосферный воздух, гидросферу, почву и, соответственно, в человеческий организм. Среди **стационарных источников** по масштабам загрязнения атмосферного воздуха **первое место** следует отдать **предприятиям цветной металлургии**, на которых перерабатывают получаемый из рудного сырья концентрат с содержанием 60-80% свинца. Технологический процесс для удаления серы и выплавки свинца ведут при высокой температуре (пирометаллургические технологии). Предприятия отрасли, занимающиеся переработкой свинцовых отходов с получением вторичного свинца и его сплавов, также в технологии применяют процессы плавки. Учитывая высокое давление паров свинца, при этих условиях технологические процессы таких предприятий поставляют это вещество как в производственную, так и в окружающую среду, создавая локальные зоны загрязнения вокруг заводов. Предприятия цветной металлургии, производящие другие металлы (медь, цинк), для которых в исходном сырье естественным спутником основного элемента является свинец, также служат источником загрязнения окружающей среды свинцом. Эмиссии последнего в окружающую среду предприятиями цветной металлургии оценивают в пределах 30-70 тысяч тонн в год. Мировое производство свинца находится на уровне 10 млн. т. в год, причем значительную его часть (до 80% в США и порядка 60% в Европе) получают в результате переработки вторичного сырья.

На втором месте находятся предприятия **машиностроения и металлообработки**, широко использующие свинец в различных технологиях при производстве своей продукции (пайка свинецсодержащими припоями, шлифовка пастами, содержащими свинец, специальные виды смазок и др.), производство специальных сплавов, подшипников скольжения, средств радиационной защиты и пр. Предприятия военно-промышленного комплекса также являются существенным источником загрязнения свинцом.

Третье место занимает **черная металлургия**, где свинец и его соединения используют при производстве специальных сталей для придания им специфических свойств, а также при переработке лома черных металлов, который часто содержит свинец. **Далее** следуют **химическая и нефтехимическая про-**

мышленности, где производят различные соединения свинца, которые широко используются в самых различных изделиях и технологиях, а именно: производство взрывчатых веществ и детонаторов, обогащение руд, катодные материалы в электрохимических технологиях и изделиях, термоэлектрогенераторы, красители, инсектициды, антидетонационные добавки к бензину, производство стекла и фарфора, текстильное производство, медицинские мази, примочки, краски для волос и т. д. **Свинец и его соединения используют** деревообрабатывающие и целлюлозно-бумажные предприятия (спичечное производство и обработка древесины), предприятия пищевой промышленности, промышленность строительных материалов и предприятия топливно-энергетического комплекса, где основное загрязнение атмосферного воздуха обусловлено сжиганием угля на теплоэлектростанциях. Ежегодные эмиссии теплоэнергетики за счет сжигания каменного угля оценивают в 1,8-14,6 тысячи тонн, мазута 0,9-3,9 тысячи тонн, дров 1,2-3,0 тысячи тонн. К **стационарным источникам** загрязнения окружающей среды свинцом и другими ТМ следует отнести и полигоны твердых бытовых отходов (ТБО), которые являются мощными площадными источниками загрязнения, в том числе и атмосферного воздуха при горении отходов. Отмечают, что вокруг полигона в полосе шириной порядка 50 метров меняется реакция почвы, а содержание свинца (и других ТМ) в дикорастущих растениях превышает фоновые в 1,5-2,0 раза.

Среди **крупных потребителей свинца** следует отметить электротехническую промышленность, использующую помимо припоев свинец и его сплавы (с сурьмой) при изготовлении оболочек (брони) для силовых кабелей и пластин для аккумуляторных батарей. Однако, в первом случае, использование свинца резко сократилось, особенно в странах Запада – за последние 25 лет почти в семь раз, чему способствовало широкое использование полимерных материалов и алюминия. Тем не менее, при прокладке подводных коммуникаций по-прежнему используют бронированный свинцовый кабель благодаря его высокому удельному весу. Масштабы использования свинца для производства аккумуляторных батарей оценивают в 40% от производимого. Необходимо отметить, что большая

его часть идет в **рециклинг,** что сокращает нагрузку на первичное производство. Другой специфичной сферой потребления свинца является атомно-промышленный комплекс, использующий свинец и изделия из него в качестве защиты от гамма-излучения. Эффективные защитные свойства свинца используют и для защиты медперсонала и пациентов от рентгеновского излучения.

Главным **мобильным источником** загрязнения воздушной среды по-прежнему является автотранспорт, использующий моторное топливо с антидетонационной присадкой тетраэтилсвинца, добавляемой в бензин в количестве до 80 мг/л. Свинец с отработанными газами выбрасывается в атмосферный воздух и, хотя основная его масса осаждается в виде твердых частиц на землю, заметная часть остается на определенное время в воздухе. Пыль, содержащая свинец, загрязняет не только обочины шоссейных дорог, но и создает вдоль последних полосы загрязнения, ширина которых зависит от интенсивности движения автотранспорта и других факторов. Ежегодная глобальная эмиссия свинца в этом случае оценивается в 260 тысяч тонн. По существующим оценкам, на производство этих добавок уходит до 20% свинца. Учитывая высокую степень загрязнения окружающей среды свинцом в результате использования этилированного бензина и его высокую токсичность для человека, в развитых странах были введены запреты на использование такого вида моторного топлива. В СССР использование этилированного бензина в 60-х годах запретили в крупных городах и на курортах, а с 2002 года в России начал действовать полный запрет на использование, а затем и на производство этилированного бензина.

Источником поступления свинца в окружающую среду служит также промысловая и любительская охота: свинцовая дробь загрязняет окружающую среду, в частности водоемы, со всеми вытекающими последствиями.

Таким образом, формируемые различными антропогенными источниками потоки свинца, соизмеримые по своим масштабам с естественными потокам его миграции, включаются в процессы переноса в различные среды и увеличивают в них его содержание. Так, даже в ледниках Гренландии за последние двести лет концентрация свинца возросла в 10 раз, что показал анализ ледяного керна.

Эти обстоятельства, в силу токсичности вещества, вызывают различные негативные эффекты в компонентах биоты.

1.2. Процессы переноса свинца в природных средах

При анализе последствий загрязнения окружающей среды свинцом необходимо учитывать, в первую очередь, в какую абиотическую среду осуществляется выброс, свойства среды, в какой форме при этом свинец находится и в каких процессах переноса участвует в дальнейшем. Кроме того, **при оценке воздействий токсиканта на компоненты биоты** следует разделять эффекты на **первичные**, т. е. связанные с непосредственным воздействием вещества из воздушной среды на биологические объекты, и **вторичные**, т. е. связанные с воздействием из других абиотических сред, куда свинец попадает в результате процессов переноса. Относительно особенностей воздушной среды, следует отметить ее малую плотность и высокую подвижность, прозрачность, наличие УФ-составляющей солнечного спектра, высокую (28% об.) концентрацию такого сильного окислителя, как кислород, и другие условия. Эти свойства обеспечивают эффективное снижение концентрации попадающих в нее токсикантов с одновременным распространением их на значительные расстояния, окисление последних с образованием иногда менее, а иногда более токсичных соединений и т. д., что необходимо учитывать при оценке возможных экологических последствий при загрязнении атмосферного воздуха.

В воздушную среду свинец обычно поступает в виде тонкодисперсных частиц окислов или сульфидов и реже – в виде других соединений неорганической или органической природы. Следует отметить, что неблагоприятные метеорологические условия способствуют накоплению свинца, особенно в нижних слоях атмосферы. К первичным эффектам следует отнести воздействие на организм человека, причем максимальное влияние проявляется в производственной среде, это связано с систематическим воздействием достаточно высоких концентраций свинца в воздухе рабочей зоны. Что касается влияния на растительность, то на поверхности растительного материала происходит накопле-

ние седиментирующих аэрозолей свинца, что создает опасность в случае использования растений не только в качестве корма для животных, но и растительной пищи для человека. Такая ситуация характерна для территорий, находящихся в зоне действия предприятий цветной металлургии и, главным образом, вдоль крупных автомагистралей. Следует отметить, что поступление свинца в растения может происходить через листовые пластинки как непосредственно из атмосферных осадков, так и при растворении находящейся на их поверхности пыли в дождевой воде, хотя дожди, особенно сильные, смывают значительную его часть (порядка 50%) на почву. Аэрозоли свинца включаются в **процессы переноса атмосферными потоками** в другие среды, такие как вода водоемов и поверхность почвы. Так, вымывание атмосферного свинца осадками обеспечивает общее его содержание в последних в пределах от 1 до 50 мкг/л, но в промышленных районах оно может достигать 1000 мкг/л, вызывая значительное загрязнение почв и снежного покрова [Кроль, Ларионов 2007]. Необходимо отметить, что свинец в аэрозолях может находиться как в виде нерастворимых (малорастворимых), так и в виде растворимых соединений, увеличение содержания которых может происходить в результате процессов многократной конденсации и испарения паров воды протекающих на твердой поверхности частиц, что в итоге ведет к накоплению растворимых форм металла.

В воде пресноводных водоемов естественная концентрация свинца обычно находится в пределах 3-10 мкг/л, что обусловлено процессами осаждения его взвеси в донные отложения и комплексообразования растворимых форм с присутствующими в воде органическими (преимущественно, **гуминовыми**) **кислотами** и неорганическими **лигандами.** Часть растворимых форм свинца адсорбируется поверхностью взвешенных частиц, присутствующих в воде (глинистые частицы и гидроксиды железа) и также поступает в донные отложения.

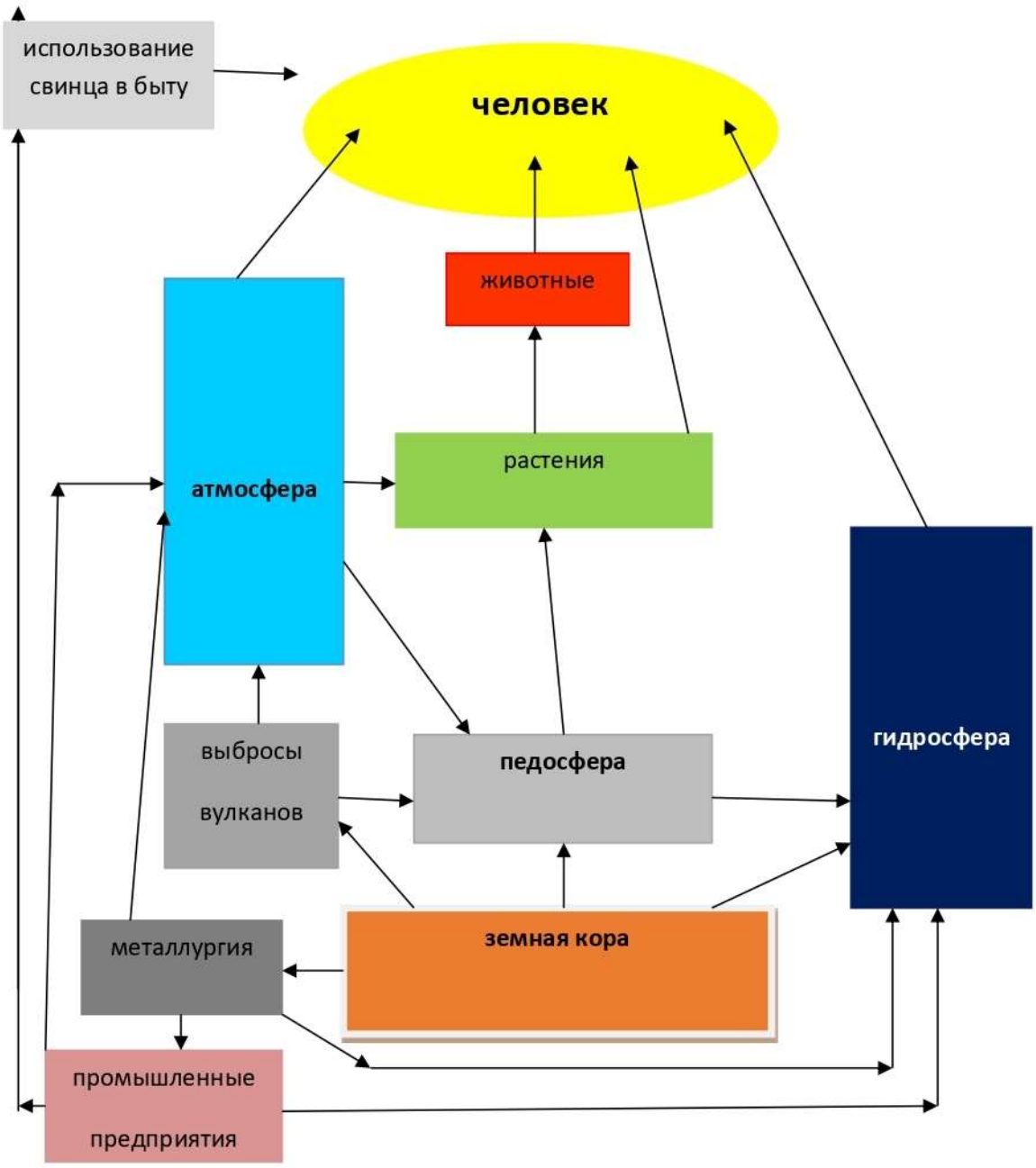


Рис. 2. Потоки свинца в биосфере

Так, в речном стоке усредненная концентрация растворенных форм свинца около 1 мкг/л, тогда как в твердой фазе взвесей она составляет порядка 100 мкг/л. Следует отметить, что в этих взвесях наличествует некоторая доля органического детрита, который также содержит свинец. Количественное соотношение между этими формами и скорость протекающих при этом процессов в значительной мере определяет значение показателя pH воды водоема.

С речным стоком в океаны и моря поступает около 41×10^3 т/год водорастворимого свинца, тогда как его поступление в составе взвесей значительно

больше. Из этого количества свыше 90% взвесей и значительная часть водорастворимых форм свинца осаждаются в дельтах, эстуариях и узкой прибрежной полосе шельфа. В **пелагиаль** океана годовое поступление свинца в виде тонких взвесей не превышает 200×10^3 т, а в виде его растворимых соединений порядка $(25\text{-}30)\times10^3$ т. В дальнейшем значительная часть взвесей и некоторая часть водорастворимых форм вещества накапливается в донных отложениях. Это обусловлено процессами биофильтрации воды планктонными организмами, в ходе которой происходит дифференциация рассеянных металлов, в результате чего свинец, в сравнении с другими, более активно выводится в донные отложения.

Отмечена различная способность водных растений к аккумуляции свинца, определяемая видовой спецификой. Следует отметить как минимум два процесса, влияющих на содержание свинца в растительном материале: с одной стороны, процесс накопления, а с другой – элиминация металла в ходе транспирации. Характеристикой способности водных растений к накоплению токсикантов (в том числе и свинца) служит коэффициент накопления ($К_н$), представляющий собой отношение концентрации вещества в растительной массе к его концентрации в воде. Величины $К_н$ зависят от многих факторов и могут достигать нескольких десятков и даже сотен, хотя для фитипланктона отмечены величины коэффициента накопления (для свинца) порядка 10^5. Как и в случае со ртутью, свинец в водной среде подвержен метилированию и образует в итоге высокотоксичный тетраметилсвинец. В силу того, что в обычных условиях содержания водоемов при малых концентрациях свинца процесс его метилирования несущественен, рыба накапливает свинец незначительно и в этом звене трофической цепи он мало опасен для человека. Однако отмечено, что в водоемах, подверженных воздействию промышленных стоков, при содержании свинца в воде на уровне 0,0001-0,0005 мг/л накопление тетраметилсвинца в тканях рыб (преимущественно в гонадах) идет более эффективно, оказывая хроническое воздействие. Отметим, что для свинца $ПДК_{рх}$ =0,006 мг/л по металлу. Можно отметить низкие $К_н$ свинца в организмах различных пиявок, где его значения не превышают 3-5. Источниками загрязнения водной среды свинцом служат промышленные предпри-

ятия, сбрасывающие сточные воды, содержащие свинец, атмосферные выпадения содержащих свинец аэрозолей на поверхность водоемов, почвенная влага, фильтрующаяся в водоемы с сельскохозяйственных угодий, где применялись или применяются свинецсодержащие пестициды, грунтовые воды из-под полигонов промышленных и бытовых отходов и др.

Фоновая концентрация свинца в почвах находится на уровне 0,1-2 мг/кг, а в верхних горизонтах почв она варьирует в пределах 3-200 мг/кг. По типам почв средние значения находятся в пределах 10-67 мг/кг. **В почву** свинец поступает от различных источников и в разнообразных формах (рис из моногр). Это и выпадения из атмосферы (годовой поток вещества на квадратный метр земной поверхности оценивают в 8 мг, а в городах с развитой промышленностью гораздо больше), и различные виды твердых отходов, содержащих свинец, и пестициды, используемые в сельском хозяйстве, и фильтрация воды из загрязненных водоемов, старение и разрушение различных видов продукции прошлых лет, содержащей свинец и др. Объемы поступления свинца в верхние слои почвы в результате трансграничного переноса металла на большие расстояния и в связи с использованием минеральных и органических удобрений имеют практически одинаковый порядок величины. Хотя эти поступления относительно невелики по сравнению с уже накопленными запасами свинца в результате поступления из природных источников и ресуспендирования, но они могут в значительно повышать содержание свинца в сельскохозяйственных культурах в результате непосредственного осаждения. Основная доля свинца, поступающего на поверхность почвы, содержится в бытовом мусоре (до 65%), в осадках канализационных стоков и городских сооружений по очистке сточных вод (до 20%). Источниками поступления свинца в почву служат консервные жестяные банки, некоторые резиновые изделия, продукты переработки мусора, в которых содержание свинца превышает его содержание в земной коре в сотни и тысячи раз и достигает 0,16-1,6% (вес.). Значительные превышения концентраций свинца над фоновыми значениями отмечены в зоне аэропортов.

При оценке воздействия свинца, находящегося в почве, на различные звенья экосистем необходимо учитывать свойства почв в качестве депо для токсиканта и формы нахождения последнего в них. Механизм фиксации свинца почвами зависит от кислотности среды. Основным способом фиксации является координационное связывание свинца структурными компонентами органического вещества, обладающими свободной парой электронов. Помимо гумуса в фиксации участвуют глинистые минералы. В суглинистых почвах свинец удерживается достаточно прочно, степень накапливания токсиканта в них зависит от таких их свойств, как кислотность, химический состав, поглощающая способность. Эти свойства в комплексе оказывают влияние на подвижность свинца и доступность его для растений, для которых он является одним из наиболее токсичных элементов. Свинец негативно влияет на процессы фотосинтеза, деления клеток, поглощения воды, инактивирует дыхание, нарушает обмен веществ, является ингибитором ряда ферментов, в т. ч. Содержащих сульфгидрильные группы, снижает доступность фосфора, калия, кальция, железа и марганца. Оказывает негативное влияние и на биологическую деятельность в почве, снижая численность микроорганизмов, ингибируя активность многих почвенных ферментов и ферментов бактерий. В природных условиях свинец присутствует во всех растениях. Его нормальное содержание в подземных органах трав определено в интервале от 1,5 до 14,0 мг/кг сухого вещества. Однако в растениях, растущих на почвах загрязненных большим количеством свинца, происходит его накопление. Основное накопление происходит в корнях, однако при высокой концентрации свинец может обнаруживаться и в листьях. Например, при содержании в почве 800 мг/кг свинца, в листьях растений было обнаружено до 27 мг/кг этого элемента. При содержании свинца в почве 3980 мг/кг в пересчете на сухую массу было обнаружено 159 мг/кг в листьях, 13 мг/кг в бобах фасоли, более 40 мг/кг в соломе и 6,7 мг/кг в зерне ржи. Свинец, легко поглощается листьями растений в случае атмосферных выпадений. Так, его накопление растениями вблизи автомобильных дорог может в 12 раз превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК). Наибольшая концентрация токсиканта чаще всего наблюдается в корне-

вой системе, в меньшей степени – в вегетативных частях растений, и минимальные концентрации металла характерны для репродуктивных органов – семян и плодов. Хотя следует отметить, что не всегда увеличение содержания свинца в почве, ведет к его накоплению растениями.

Свинец способен включаться в трофические цепи, накапливаясь в тканях растений, животных, человека. При скармливании животным кормов, содержащих 3 мг/кг свинца (в пересчете на сухую массу), он накапливается в тканях. Токсичное действие свинца в большей степени проявляется у жвачных животных в силу длительного нахождения токсиканта в пищеводе, что увеличивает степень его поглощения.

Хотя поглощение свинца через корневую систему растений в нормальных условиях относительно невелико, в долгосрочной перспективе росту концентраций этого вещества в почве следует уделять особое внимание из-за возможной опасности воздействия малых концентраций свинца на здоровье человека. Поэтому объемы атмосферных выбросов свинца следует поддерживать на максимально возможном малом уровне. Для растительности высокие концентрации свинца характерны для территорий, подверженных техногенному воздействию: окрестности металлургических предприятий, рудников по добыче полиметаллов и, главным образом, вдоль автострад. Исследования показали, что ширина придорожных полос автомагистралей, загрязненных свинцом и кадмием, достигает 100 м, а в корнеплодах и капусте, выращенных в этой зоне, количество свинца в 5-10 раз превышает предельно допустимую суточную норму. В овощах, выращенных на пригородных садовых участках на удалении 25 км от крупных городов, обнаруживали значительное увеличение концентрации свинца.

Придорожные лесные полосы задерживают в кронах деревьев свинец из отработанных газов автотранспорта. В городских условиях площади свинцовых аномалий зависят от условий застройки и структуры зеленых насаждений. Накопление свинца на поверхности растений происходит в сухую погоду; обильные дожди смывают значительную (до 50%) его часть на поверхность почвы. Беспозвоночные животные почвы, имеющие твердые покровы, в

наибольшей степени накапливают в них свинец. Что касается распределения свинца в растениях, то оно неравномерно.

Таким образом, накопление свинца растительным материалом способствует его включению в пищевые цепочки со всеми вытекающими последствиями для потребителей в случае достаточно высоких уровней загрязнений пищи.

1.3. Воздействие на организм человека

Свинец не является жизненно необходимым элементом и относится к первому классу опасности (чрезвычайно опасные загрязняющие вещества). Имеющийся опыт (в том числе и исторический) его негативного воздействия на здоровье человека со всей очевидностью требует анализа путей этого воздействия, его природы и нормирования действующих факторов. Присутствующий в окружающей среде свинец может быть естественного и антропогенного происхождения. Его поступление в организм человека может осуществляться с питьевой водой, продуктами питания, с вдыхаемым воздухом, с почвой и другими его содержащими субстанциями. Основной путь поступления свинца в организм взрослых некурящих людей – с продуктами питания и питьевой водой. Преимущественные потенциальные пути поступления свинца в организм младенцев и маленьких детей – это продукты питания, воздух, вода и почва. Для младенцев возрастом до полугода воздух, молоко и вода также являются его существенными источниками.

Таким образом, основные пути поступления свинца в организм человека – ингаляционный и пероральный.

Через кожные покровы (перкутанно) поступает крайне незначительная доля токсиканта (исключения составляют растворимые соли при непосредственном контакте с увлажненной кожей и органические соединения, например, тетраэтилсвинец).

Ингаляционный путь (через легкие) поступления свинца связан преимущественно с содержащимися во вдыхаемом воздухе аэрозолями различной природы, которые, попав в легкие, на 30-35% задерживаются в них, и значи-

тельная часть этого количества попадает в кровоток. Следует отметить, что степень всасывания зависит от природы соединений, в виде которых присутствует свинец. Так, органические соединения свинца и его легкорастворимые соли усваиваются в большей степени, нежели малорастворимые соединения.

Пероральный путь (через желудочно-кишечный тракт). Отметим, что пища является доминирующим источником поступления свинца в организм человека во всех группах населения. Порядка 5-10% растворимых соединений свинца происходит через слизистые оболочки пищеварительного тракта. У детей всасывание может составлять 50%. Степень всасывания токсиканта зависит от растворимости его соединений. Выводится свинец из организма со стулом (80-90%), а меньшая часть выделяется с мочой. Свинец обладает кумулятивными свойствами. Его биологический период полувыведения из организма составляет 10-20 лет. Поглощенный организмом свинец содержится в крови и других жидкостях организма и накапливается в костях (**депо**) в виде нерастворимых трехосновных фосфатов. Находящийся в костной ткани в виде нерастворимого соединения, он не оказывает непосредственного токсического действия, однако, учитывая процесс его естественного выведение из крови, возникающий дефицит компенсируется поступлением из костной ткани (органа депо, вызывая отравление даже в острой форме. Учитывая естественное нахождение свинца в окружающей среде, он в обязательном порядке в малых концентрациях присутствует в организме человека, хотя физиологическая роль его окончательно не выяснена. В норме содержание свинца в костной ткани составляет 20 мг/кг, в печени – 1 мг/кг, в почках – 0,8 мг/кг, в мозге – 0,1 мг/кг. Но с возрастом количество металла, накопленного в костях, увеличивается, и к 30-40 годам у лиц, профессиональная деятельность которых не связана с использованием свинца, находится в пределах от 80 до 200 мг.

Повышенное содержание свинца в окружающей человека среде в силу его склонности к аккумуляции в организме и высокой токсичности может привести к широкому диапазону биологических эффектов в зависимости от уровня и продолжительности воздействия. Отравление свинцом называется «сатурнизм».

Свинец и его соединения являются политропными ядами (т. е. действуют на разные органы и системы организма). Сатурнизм чаще встречается у детей и реже – у взрослых. В настоящее время острые формы отравления свинцом с ярко выраженным эффектом поражения редки и связаны, главным образом, с профессиональной вредностью (работа на свинцовых рудниках, на фабриках по производству свинцовых красок, отделочные и шлифовальные работы, электромонтажные работы, использование тетраэтилсвинца в качестве антидетонационной добавки, отравление свинцом при таких технологических процессах, как эмалирование, плавка, изготовление батареек, а также при использовании детьми свинцовых красок). Тем не менее, **хроническое воздействие** его малых концентраций (установлено, что хроническая интоксикация наступает при потреблении 1-8 мг свинца в сутки) может вызывать субклинические эффекты, особенно в детском организме. Как в том, так и в другом случаях органами-мишенями являются кроветворная и нервная системы и почки.

При хронической интоксикации возможны поражения печени, сердечно-сосудистой системы, нарушение эндокринных функций (например, у женщин – выкидыши). Угнетение иммуннобиологической реактивности организма, вызываемое свинцом, способствует повышенной общей заболеваемости. Влияние на нервную систему человека приводит к снижению интеллекта, вызывает изменение физической активности, координации слуха, воздействует на сердечно-сосудистую систему, приводит к заболеваниям сердца. Мутагенные свойства свинца однозначно не подтверждены, а имеющиеся данные могут быть связаны с **синергическими** эффектами. Наиболее частыми формами отравления свинцом являются малокровие, свинцовые колики, плеврит, гепатит. Уже при небольших дозах наступают нарушение кроветворных функций костного мозга и разрушение эритроцитов, что ведет к малокровию. Все это оказывает негативное влияние на состояние здоровья населения и, в первую очередь, детей как категорию, наиболее восприимчивую к свинцовым отравлениям. Наиболее выраженное воздействие оказывается на развивающуюся нервную систему детей и новорожденных. Даже при малых уровнях поступления свинца в организм у де-

тей может отмечаться гиперактивность, пониженная концентрация внимания, умственные расстройства, сужение поля зрения, т. к. растущий детский организм в большей степени способен абсорбировать свинец, а детский мозг и нервная система более чувствительны к его вредному воздействию. Тестирование, проведенное у 165 детей от 4 лет, проживающих в зоне действия медеплавильного комбината, выявило существенную задержку психического развития у 75%, а у 7% детей обнаружена умственная отсталость, включая олигофрению. Есть данные, что легкая свинцовая интоксикация сказывается на способности детей к чтению и решению математических задач. Кроме того, интоксикация свинцом влияет на поведение детей, усиливая у них агрессивность и антисоциальность. Такие отклонения в развитии могут носить длительный характер и быть необратимыми. Низкий вес при рождении, отставание в росте и потеря слуха также являются результатом свинцового отравления. Легко преодолевая плацентарный барьер, свинец может в повышенных концентрациях находиться в эмбрионе.

1.4. Симптомы отравления свинцом

При хронической интоксикации речь идет о поглощении малых количеств свинца и накоплении их в организме до критического уровня, необходимого для токсического проявления. Острые свинцовые отравления встречаются редко. Их симптомы – слюнотечение, рвота, кишечные колики, острая форма отказа почек, поражение мозга. В тяжёлых случаях – смерть через несколько дней. **Ранние симптомы** отравления свинцом проявляются в виде повышенной возбудимости, депрессии и раздражительности. При отравлении органическими соединениями свинца его повышенное содержание обнаруживают в крови.

При острой интоксикации свинцом, наиболее часто отмечаются неврологические симптомы, свинцовая энцефалопатия, «свинцовые» колики, тошнота, запоры, боли по всему организму, снижение частоты сердечных сокращений и повышение артериального давления. При хронической интоксикации наблюдается повышенная возбудимость, гиперактивность (нарушение концентрации внимания), депрессия, снижение IQ, гипертония, периферическая нейропатия,

потеря или снижение аппетита, боли в желудке, анемия, нефропатия, «свинцовая кайма», дистрофия мышц кистей рук и т. д. Токсическое действие свинца в значительной мере обусловлено его способностью образовывать связи с такими лигандами, как сульфгидрильные группы, производные цистеина, имидазольные и карбоксильные группы, фосфаты. Взаимодействие ангидридов со свинцом угнетает синтез белков и активность ферментов АТФ-азы. Свинец нарушает синтез гемоглобина, индуцирует дефекты мембран эритроцитов. Следует отметить, что все соединения свинца токсичны, но особенно – его органические производные.

1.5. Нормирование содержания свинца

Одним из источников поступления свинца в организм человека является **атмосферный воздух**, который человеку необходим постоянно для поддержания своих процессов жизнедеятельности. Несмотря на то, что в последние десятилетия концентрации свинца в окружающем воздухе сократились на 50-70%, воздействие токсиканта в результате его вдыхания может быть также значительным в тех случаях, когда концентрации последнего в воздухе являются высокими. Последняя ситуация исходно рассматривает **нахождение человека** (работника) в загрязненной производственной атмосфере **в течение всего рабочего времени** и предполагает защиту работника от воздействия токсиканта в это время. **Другой случай** – это **постоянное нахождение** в условиях «незагрязненного» атмосферного воздуха как на работе и в объектах инфраструктуры, так и в местах отдыха и в домашних условиях. В связи с этим разработаны соответствующие нормативы содержания свинца в воздушной среде (ПДК), обеспечивающие безопасность человека:

среднесуточная предельно допустимая концентрация:

в атмосферном воздухе населенных мест – $ПДК_{СС}$ =0,0003 мг/м^3

в воздухе рабочей зоны – $ПДК_{рз}$ =0,005 мг/м$^{3.}$

Помимо этого разработаны кратковременные максимально разовые концентрации для жилой и рабочей зон $ПДК_{мр/жз}$=0,001мг/м^3 и $ПДК_{мр/рз}$=0,01мг/м^3.

Главным путем поступления свинца в организм человека во всех группах населения **является желудочно-кишечный тракт**, куда токсикант попадает с продуктами питания и питьевой водой. Анализ пищевых продуктов показывает, что в 3,5% проб свинец присутствует в концентрациях, превышающих предельно допустимые. Среднее содержание свинца в продуктах питания составляет 0,2 мг/кг. По отдельным продуктам питания имеются следующие данные, мг/кг: фрукты – 0,01-0,6 (в среднем 0,1), овощи – 0,02-1,6 (0,19), крупы – 0,03-3 (0,21), хлебобулочные изделия – 0,03-0,82 (0,16), мясо и рыба – 0,01-0,78 (0,16), молоко – 0,01-0,1 (0,027). Комитет экспертов ФАО и ВОЗ установил, что **допустимый еженедельный прием** свинца для человека составляет **3 мг**. Это основано на данных о токсичности для взрослых людей и на предположении, что поглощается только 10% принятого с пищей свинца. Установленная величина не относится к грудным и маленьким детям, поскольку неизвестна степень отрицательного воздействия свинца на эту возрастную группу. Особенно высоко содержание свинца в сельскохозяйственной продукции, выращенной вблизи промышленных центров. По существующим оценкам, ежедневно с пищей в организм человека поступает до 45 мкг свинца, из которых – 40% (16 мкг) задерживается в организме. Отмечено, что у взрослых усвояемость свинца составляет: до приема пищи – 60-80%, после – 6%, в то время как у детей даже после еды усвояемость – 50%. Удержание свинца в организме мужчин выше, чем у женщин. Повышенное поступление с пищей кальция, фосфора, магния, цинка снижает абсорбцию свинца, тогда как на фоне дефицита железа и кальция способность организма усваивать свинец увеличивается. После проникновения свинца в кровь происходит его распределение в костные ткани (до 90%), а также в почки, мозг, печень. Частично свинец абсорбируется волосами, зубами и ногтями. В случае дефицита в организме железа и кальция, свинец будет усваиваться более активно. Считают, что оптимальная интенсивность поступления свинца в организм человека составляет 10-20 мкг/день. Необходимо отметить, что наличие этого вещества в костной ткани (депо) может служить источником его поступления в кровь, что в период беременности и грудного

кормления вызывает воздействие на эмбрионы и детей, вскармливаемых грудью. В связи с этим, особое значение имеет воздействие свинца на организм женщин до беременности.

Поскольку питьевая вода также является мощным источником попадания свинца в организм человека (доказано, что повышение его содержания в воде, как правило, обусловливает и увеличение его концентрации в крови), в качестве гигиенического норматива предельно допустимой концентрации свинца (ПДК) в питьевой воде установлена величина 0,03 мг/л. Также, исходя из специфики и объема потребления, разработаны соответствующие нормативы содержания свинца (предельно допустимые концентрации ПДК, не вызывающие вредных последствий для здоровья человека) и для продуктов питания.

Таблица 1

ПДК свинца для некоторых продуктов питания

продукт	рыба	мясо	молоко	хлеб	овощи	фрукты
ПДК (мг/кг)	1,0	0,5	0,1 (0,05)	0,5 (0,3)	0,5	0,4

Загрязненные свинцом почвы, выступающие в качестве его депо, представляют значительную опасность для человека как с точки зрения включения свинца в пищевые цепочки, так и в плане носителя токсиканта, поступающего в организм ингаляционным и пероральным путем. В этом случае защита нормированием осложняется многообразием почвенных типов, физико-химические свойства которых в значительной мере определяют накопление свинца и его поведение в системе «почва-растение», а также формой нахождения токсиканта, поскольку растворимая форма более подвижна и токсична. В определенной мере, именно поэтому количество загрязняющих веществ, для которых определены ПДК, для почвы, в сравнении с атмосферным воздухом и водой, невелико. Отмечено, что свинец чаще накапливается в поверхностном слое почвы (0-2,5 см), хотя встречается накопление свинца в гумусовых отложениях, причем в случае загрязненных территорий последние накапливают его в большей степени. Гигиеническими нормативами в соответствии с санитарным показателем вредности установлены **предельно допустимые концентрации свинца в**

почве: по валовому содержанию – 32 мг/кг, а по подвижным формам – 6 мг/кг. Наиболее ранимым объектом воздействия загрязненной свинцом почвы оказываются дети, а средой максимального риска – городская, в которой запыленный приземный слой воздуха инициирует ингаляционное поступление, а частицы почвы, содержащие свинец, с грязных рук и игрушек – перероральное поступление. Оценку неблагоприятных последствий загрязнения почв в случае **геофагии** у детей проводят по наиболее распространенному в населенных пунктах загрязняющему веществу – свинцу, повышенное содержание которого в почвах города, как правило, сопровождается и увеличением содержания и других элементов. Систематическое нахождение свинца в почве игровых площадок на уровне 300 мг/кг может приводить к изменению психоневрологического статуса у детей. Безопасным считается загрязнение почвы свинцом на уровне ПДК. Оценка загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения (Zc) при его значениях менее 16 дает наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальную частоту встречаемости функциональных отклонений. Значения этого показателя, находящиеся в пределах 16-32, оценивают почву как умеренно опасную, могущую привести к увеличению общей заболеваемости. При сельскохозяйственном направлении использования почв допустимым считается содержание свинца выше фонового, но не превышающее ПДК. При этом условии почвы могут быть использованы под любые культуры без ограничений.

1.6. Профилактика свинцовой интоксикации

Вследствие глобального загрязнения окружающей среды свинцом, он стал вездесущим компонентом любой абиотической среды, а также любой пищи и кормов. Учитывая его высокую токсичность, необходимо пользоваться средствами и методами обеспечения безопасности нашего организма не только в случае пребывания (проживания) в зоне действия соответствующих предприятий, но и в обычных условиях, которые в настоящее время не исключают контакта человека с различной продукцией с повышенным содержанием свинца.

Самыми простыми и эффективными в этом случае будут профилактические мероприятия, которые можно разделить на группы.

К первой группе относятся основные **мероприятия по соблюдению гигиенических требований в быту**, а именно: ежедневная влажная уборка жилых помещений; тщательная очистка ковровых покрытий пылесосом; обязательная смена обуви (желательно и одежды) при входе в помещение; запрет на принятие пищи на улице; обязательное мытье рук по возвращении с улицы и перед приемом пищи; запрет на нахождение в ремонтируемых помещениях и т. д.

Ко второй группе относятся профилактические **мероприятия по правильному питанию**: включение в ежедневный рацион продуктов, содержащих в большом количестве пектин (фрукты и овощи), важно запомнить, что такие продукты не должны подвергаться тепловой обработке, т. к. после нее они потеряют способность связать и быстро вывести из организма свинец; также рацион должен включать кисломолочные продукты, которые не только связывают свинец, но и препятствуют его накоплению в костной ткани и крови; важно избегать дефицита железа в питании, а также ежедневно принимать до 1 г. препаратов кальция.

К третьей группе относятся **мероприятия по профилактике попадания свинца в организм**:

– старайтесь минимально пользоваться консервной продукцией в паянных жестяных банках. Хотя внутренняя поверхность банок покрывается лаком, при длительных сроках хранения и некачественной пайке содержание свинца в продукте может увеличиваться в 10 раз по сравнению с естественным уровнем. Встречаются редкие (всего 2%), случаи, когда в консервах из этой тары накапливается, особенно при длительном хранении, до 3 мг/кг свинца, что уже представляет опасность для здоровья. По этой причине продукты в сборной жестяной таре не рекомендуется хранить более 5 лет, а лучше пользоваться стеклянной;

– не храните и не готовьте пищу в декоративной фарфоровой или керамической посуде, предназначенной для украшения, а не для приготовления пищи,

т. к. часто глазурь, особенно желтого и красного цветов, содержит соли свинца и кадмия, которые легко переходят в пищу;

– не собирайте грибы, ягоды и плоды с кустарников и деревьев вдоль автострад, поскольку свинец из отработанных газов автотранспорта попадает в почву, накапливается растениями и загрязняет полученные из них пищевые продукты. В зависимости от интенсивности движения зона загрязнения может простираться до 500 м. Поэтому вдоль дорог следует выращивать только лесные породы деревьев. Однако этим иногда пренебрегают и часто вдоль дорог высаживают плодовые деревья и кустарники, которые дают загрязненные свинцом плоды. Это же относится и к грибам, которые к тому же являются концентраторами различных аэрозольных загрязнений. Все это относится и к растениям городских скверов больших городов.

Коррекция содержания свинца в организме

Любая коррекция содержания того или иного вещества в организме с помощью лекарств и/или БАД должна проводиться только после консультации с врачом-специалистом.

В случае умеренного избытка свинца в организме и для профилактики используют сульфатные минеральные воды, пектин, альгинаты, желчегонные средства, поливитамины, пищевые кислоты, препараты кальция, магния, фосфора, цинка, железа.

При интоксикации свинцом также используют препараты цинка, железа, кальция, витамины B, D, C, E в терапевтических дозах и хелатирующую терапию (препараты ЭДТА, ДМСК, D-пеницилламин).

Снижению уровня содержания в организме свинца способствуют серусодержащие аминокислоты, витамины A, C, E, B-комплекс, фолиевая кислота, никотинамид, Ca, Mg, Zn, Fe, Cr, P, Se.

Контрольные вопросы

1. Какие стационарные и мобильные источники являются основными поставщиками свинца в атмосферный воздух?

2. Где в быту человек контактирует со свинцом и его соединениями?

3. Почему донные отложения в водоемах служат депо для свинца?

4. Охарактеризуйте источники поступления свинца в почву и формы его нахождения в них.

5. Охарактеризуйте факторы определяющие фиксацию свинца в почвах и формы нахождения токсиканта в них.

6. Каково влияние свинца, находящегося в почве, на различные звенья экосистемы?

7. Охарактеризуйте пути поступления свинца в организм человека и его распределение по органам и тканям.

8. Токсическое действие свинца на организм человека и органы мишени. Симптомы отравления свинцом. Острая и хроническая интоксикация.

9. Нормирование содержания свинца в различных средах и продуктах.

10. Каковы профилактические мероприятия свинцовой интоксикации?

2. РТУТЬ (Hg)

Ртуть (Hg) – химический элемент 2 группы периодической системы Д. И. Менделеева; атомный номер 80, атомная масса 200,59. Представлен 7 изотопами с массовыми числами: 196, 198, 199, 200, 201, 202 и 204. Ртуть – редкий рассеянный элемент (его содержание в земной коре около $4,5*10^{-6}$%). Представляет собой тяжелый металл (плотность 13,52 г/см^3) серебристо-белого цвета, который при комнатной температуре находится в жидком состоянии. Это единственный металл, который при нормальных условиях находится в жидком состоянии (температура плавления -38,9^{o}C, температура кипения +357,25^{o}C), что обусловливает высокое значение давления паров ртути в воздухе. Образует со многими металлами жидкие и твердые сплавы – амальгамы. Характерными для ртути являются две степени окисления +1 и +2, из которых наиболее вероятна вторая. В двухвалентном состоянии ртуть образует катионы Hg^{2+}, которые очень легко гидролизуются в разбавленных растворах. В более концентрированных растворах Hg^{2+} дегидратируется. Двухвалентная ртуть образует прочные комплексы со многими лигандами, а с йодом (-1), серой (-2) и углеродом – очень прочные ковалентные связи. Уникальная в сравнении с другими металлами устойчивость связи ртуть-углерод обусловила огромное количество ртутьорганических соединений. Ионы Hg(+2) образуют устойчивые комплексы с биологически важными молекулами. Именно высокое химическое сродство ртути (+2) и ее метилированных соединений к биомолекулам в существенной мере определяет токсикологическую опасность ртути в условиях окружающей среды. Пары и растворимые соединения ртути чрезвычайно ядовиты и относятся к первому классу опасности.

2.1. Использование ртути человеком

По оценкам специалистов, с момента открытия ртути человеком для своих нужд было произведено порядка 700 тыс. т вещества, существенная часть из которых рассеяна на земной поверхности. Количество ртути, которое поступи-

ло в среду обитания в ходе других видов человеческой деятельности (при добыче различных полезных ископаемых, выплавке металлов, производстве цемента, сжигании ископаемого топлива и т. д.), также велико.

Поставка ртути в атмосферу, обусловленная промышленной деятельностью человека (техногенная эмиссия), оценивается в 3600-4500 т в год, что сопоставимо с «ртутным дыханием Земли».

Уникальные свойства ртути (жидкий при обычных условиях металл с высоким давлением паров, способность образовывать амальгамы и др.) не только обратили на него внимание человека в древние времена (в III тысячелетии до н.э. металлическую ртуть и киноварь использовали в Древнем Египте, в это же время о ней узнали индусы, а в Древнем Китае киноварь использовали и как краску и как лекарственное средство; умели превращать киноварь в металл греки и римляне), но и позволили по мере развития цивилизации использовать это уникальное сочетание свойств жидкости и металла на благо научно-технического прогресса.

Непосредственно причастна ртуть к научным открытиями и техническим достижениям. Это и изобретение Торричелли ртутного барометра, а Амантоном и Фаренгейтом – ртутного термометра, и опыты Паскаля по изучению атмосферного давления, и открытие сверхпроводимости Камерлинг-Оннесом, получившим в 1913 г. Нобелевскую премию, и знаменитый опыт Майкельсона-Морли, доказавший отсутствие эфирного ветра при движении Земли, и эксперименты Дж. Франка и Г. Герца, подтвердившие теорию строения атома Н. Бора, и создание вакуум-насоса Ленгмюром и многое другое. В фотографии пары ртути были первым проявителем, которым пользовался Даггер. Особое значение ртуть имела для развития аналитической химии и открытия многих химических элементов и их соединений. Нобелевской премии был удостоен химик Я. Гейровский, создавший полярографический метод химического анализа и др.

Огромную роль сыграла ртуть в науке и технике: измерительные приборы (термометры, манометры, барометры и т. д.) используются не только в науке, но и в производстве. Сюда же относятся ртутные выпрямители, используемые в

электрическом транспорте, в электрохимических производствах. Ртуть применяеися в металлургии при легировании некоторых сплавов, в припоях, в радиоэлектронике, автоматике, в производстве ламп, при производстве боеприпасов, в качестве пигмента (киноварь), как компонент краски морских судов для борьбы с обрастанием и т. д.

Еще одно замечательное свойство ртути – а именно, способность растворять другие металлы, образуя твердые или жидкие растворы (амальгамы) – также широко используют в различных сферах деятельности человека. Например, амальгаму таллия применяют в специальных конструкциях низкотемпературных термометров, до настоящего времени в некоторых странах амальгамация находит применение и сейчас, главным образом, при извлечении тонко вкрапленного в руду золота. На использовании различных свойств ртути были созданы самостоятельные отрасли промышленности, в том числе, добыча золота методом амальгамации, производство газоразрядных ртутных ламп, химических источников тока, хлора и каустической соды. Ртуть служила теплоносителем в одном из первых реакторов на быстрых нейтронах. Одним из самых массовых потребителей металлической ртути является хлорная промышленность, использующая катоды из металлической ртути для производства Cl_2 и NaOH методом электролиза раствора поваренной соли. Используют ртуть в нефтеперерабатывающей промышленности для точного регулирования температуры при очистке нефти. В конце двадцатого века насчитывалось порядка 80 профессий, в которых человек контактировал с ртутью, а в развитых странах свыше 50% этого металла используется в электротехнике. До 1970-х годов ртуть достаточно широко использовали в медицине (зубные пломбы, такие фармпрепараты, как каломель – слабительное; меркузал – сильное мочегонное; желтая ртутная мазь). Соединение ртути тиомерсал применяли для консервирования вакцин. Высокотоксичные соединения ртути используют для протравливания семенного зерна и в качестве пестицидов.

В домашних условиях ртуть может оказаться в лампах дневного света, медицинском термометре.

Однако, несмотря на уникальность свойств ртути, позволивших широко использовать это вещество в самых различных сферах деятельности человека, высокая токсичность и случаи массового отравления ртутью привели к таким ограничительным мерам применения, как международная конвенция Минамата. Она названа так в память о массовом отравлении ртутью и подписана многими странами, с 2020 года она должна запретить производство, экспорт и импорт нескольких различных видов ртутьсодержащей продукции, применяемой в быту, в том числе, электрических батарей, электрических выключателей и реле, некоторых видов компактных люминесцентных ламп (КЛЛ), люминесцентных ламп с холодным катодом или с внешним электродом, ртутных термометров и приборов измерения давлении. Конвенция вводит регулирование использования ртути и ограничивает ряд промышленных процессов и отраслей.

2.2. Нахождение в природе

Несмотря на то, что ртуть относится к редким рассеянным элементам, в силу своих свойств она формирует глобальный геохимический фон и образует месторождения, в которых сосредоточено всего 0,02% от ее общего количества. Поверхностный слой земной коры, по существующим оценкам, содержит 100 млрд. т ртути, а ее средние содержания в земной коре и основных типах горных пород составляют порядка 0,03-0,09 мг/кг. В водах мирового океана находится около 41,1 млн. т. ртути, а ее средняя концентрация в его водах – 0,03 мкг/л.

Известно свыше 100 ртутных и ртутьсодержащих минералов, из которых киноварь является минералом, определяющим промышленную значимость ртутных месторождений.

Рис. 3. Киноварь

Другие минералы и самородная ртуть добываются попутно с киноварью. Всего в мире обнаружено порядка 5000 ртутных месторождений, рудных участков и рудопроявлений, получивших самостоятельное название, из которых разрабатывались около 500. Однако за всю историю ртутной промышленности свыше 80% металла получено на 8 месторождениях: Альмаден (Испания), Идрия (Словения), Монте-Амиата (Италия), Уанкавелика (Перу), Нью-Альмаден и Нью-Идрия (США), Никитовка (Украина), Хайдаркан (Киргизия). В силу своей рассеянности ртуть в тех или иных количествах обнаруживается во всех объектах и компонентах окружающей среды. В повышенных концентрациях она содержится в рудах многих других полезных ископаемых (полиметаллических, медных, железных и др.). Содержат ртуть горючие сланцы, известняки, доломиты, каменный уголь, природный газ, нефть и т. д. Высокое давление паров ртути и наличие ее в мантии и земной коре инициируют процесс ее испарения преимущественно в атмосферу (так называемое «ртутное дыхание Земли), который идет непрерывно, но активизируется при извержениях

вулканов, землетрясениях, геотермальных явлениях и т. п. За счет этой природной эмиссии в окружающую среду поступает около 3000 т ртути в год.

В приземном слое атмосферного воздуха природные (фоновые) концентрации паров ртути обычно составляют 10-15 нг/м^3 при колебаниях в пределах от 0,5-1 до 20-25 нг/м^3. По-видимому, такие содержания практически безопасны для живых организмов, непосредственно контактирующих с воздушной средой. Преимущественной формой нахождения ртути в атмосфере являются ее пары (Hg^0), в меньшей степени представлена ионная форма, органические и неорганические (хлориды, йодиды) соединения. Также ртуть и ее соединения сорбируется аэрозолями. В зонах загрязнения концентрации этого вещества в воздухе возрастают иногда в десятки и сотни раз, а в производственных или загрязненных ртутью помещениях могут достигать крайне высоких значений (до 1-5 мг/м^3). Из атмосферного воздуха пары ртути, ее соединения и аэрозоли с сорбированным веществом вымываются осадками. Так, в зонах загрязнения концентрации ртути в дождевой воде достигают, а иногда превышают, 0,3-0,5 мкг/л, тогда как в случае фоновых концентраций в атмосфере дождевая вода содержит не более 0,1 мкг/л. В городских условиях наблюдают рост количества ртути, переносимой с аэрозолями и атмосферной пылью.

В поверхностных пресных водах типичные фоновые содержания валовой ртути (ее растворенные формы) составляют 0,03-0,07 мкг/л; в донных отложениях рек и пресноводных озер – 0,05-0,1 мг/кг; в пресноводных растениях – 0,04-0,06 мг/кг сухой массы. Обычно, там, где отсутствует ртутное загрязнение, ее концентрации в питьевых водах практически не превышают 0,1 мкг/л.

В водной среде ртуть находится и мигрирует в основном в двух состояниях – в растворенном и во взвешенном. В растворенном виде она может находиться в виде двухвалентного иона, гидролизованных форм, комплексных соединений с хлором, органическим веществом и др. Среди соединений двухвалентной ртути в экологическом и токсикологическом отношении особая роль принадлежит ртутьорганическим соединениям. Взвесь и донные отложения, в которые в итоге осаждаются взвешенные частицы, являются важнейшими ак-

кумуляторами ртути в водных объектах, особенно в условиях их загрязнения. Наиболее высокими концентрациями ртути характеризуются техногенные илы, активно накапливающиеся в реках и водоемах, куда поступают сточные воды промышленности. В них концентрации ртути достигают 100-300 мг/кг, а иногда и больше, тогда как фоновые концентрации не превышают 0,1 мг/кг. Известны случаи, когда количество ртути, поступившей со сточными водами и накопившейся в таких илах, составляло десятки и сотни тонн. Нормальное функционирование таких рек и водоемов и их практическая эксплуатация невозможно без удалении загрязненных отложений, а использование для орошения сельскохозяйственных угодий загрязненных ртутью вод приводило к ее накоплению в сельхозпродукции до уровней, превышающих ПДК.

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

2.3. Потоки ртути в биосфере

В окружающей среде постоянно протекают процессы адсорбции ртути и ее соединений наземными природными объектами, и в это же время из них она выделяется в лито- и гидросферу, где она депонируется в илах. В настоящее время выделяют два типа геохимических круговоротов ртути в окружающей среде: глобальный (из природных источников) и локальный (из техногенных).

Общий процесс распределения и миграция ртути в окружающей среде реализуется в виде круговорота, который является результатом **наложения локального круговорота**. Он основан на ртутном загрязнении, обусловленном деятельностью человека и приводящем к формированию в окружающей среде зон техногенного загрязнения, на **глобальном круговороте**, включающем циркуляцию паров ртути в атмосфере (от наземных источников в Мировой океан и наоборот). Именно с круговоротами локального типа чаще всего связано формирование опасных с экологических позиций ситуаций.

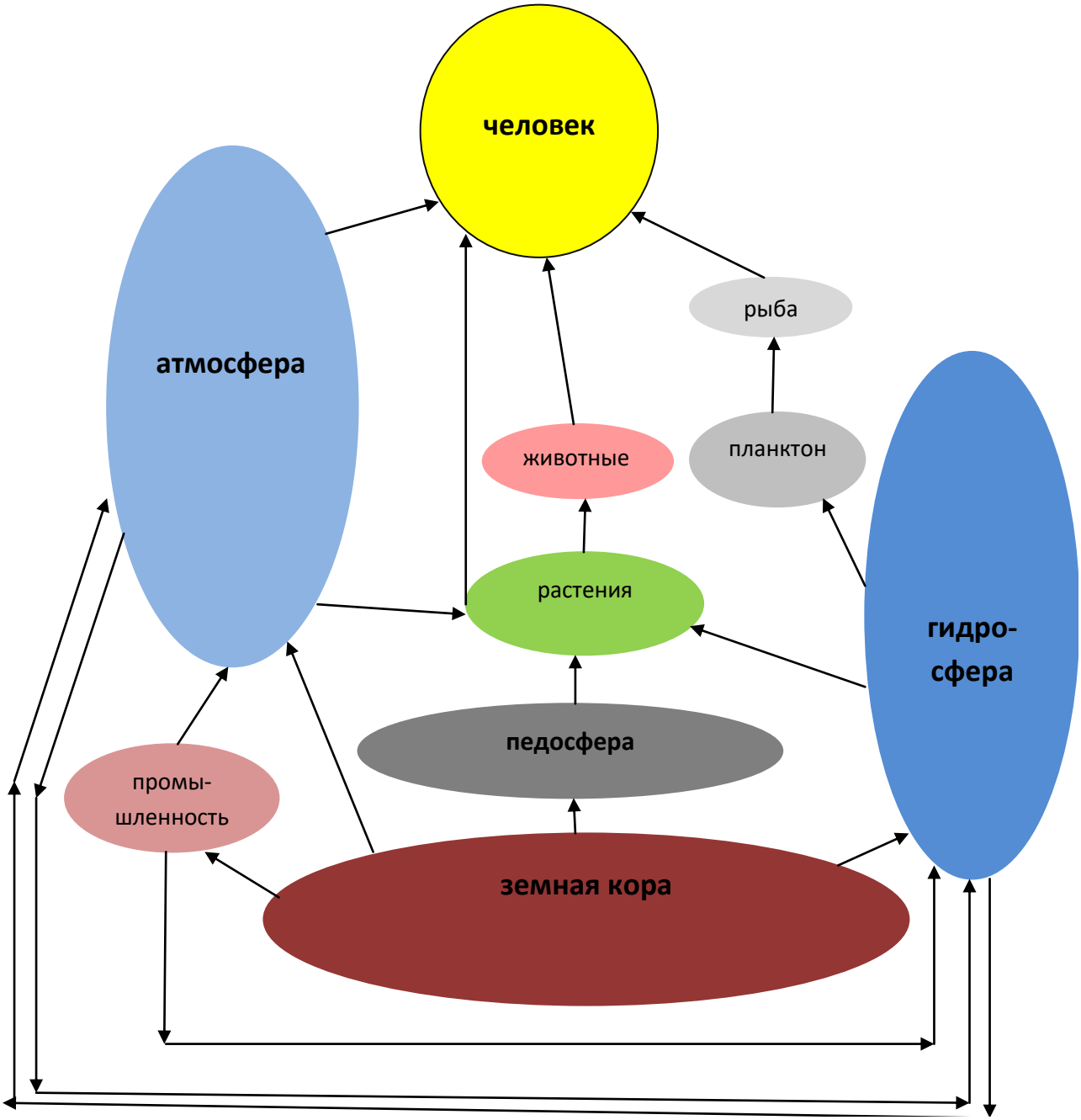


Рис. 4. Круговорот ртути в окружающей среде

Природные источники эмиссии ртути (месторождения, газовыделения из недр земли и извержения вулканов, испарения из естественных водоемов и т. д.), по экспертным оценкам, ежегодно поставляют в окружающую среду от $25x10^3$ до $150x10^3$ т, при этом естественное газовыделение из земной коры составляет от $25x10^3$ до $125x10^3$ т. В атмосфере находится 350 тонн ртути, из которых 260 тонн – над континентами, а 90 – над океанами. Время жизни ртути в атмосфере составляет порядка нескольких месяцев. Преимущественно в газообразном состоянии она переносится атмосферными потоками на десятки тысяч километров и стремится равномерно распределиться в широтном отношении. На суше она фиксируется в виде ртутьорганических соединений. Время эмиссии ртути из почвы в гидросферу составляет порядка $9x10^2$ лет, а в атмосферу – $4x10^2$. При испарении ртути с поверхности земли концентрация ее паров будет только в том случае опасна для человека, когда содержание металла в почве составит не менее десятых долей процента.

В Мировой океан около 25% ртути поступает из атмосферы, а остальное из глубоких слоев земной коры при общем объеме поступления? Порядка 3,0x103 т/год. По расчетам, общее содержание данного элемента в океане порядка 10 млн. тонн, а в донных отложениях – $5,4x10^2$. Для прибрежных регионов океанов и внутренних морей характерна повышенная концентрация ртути. Отмечено, что загрязнение донных отложений особенно прогрессирует в последние 30-40 лет.

Техногенный круговорот формируется преимущественно за счет эмиссий таких отраслей промышленности, как предприятия цветной металлургии, получающие данный металл из ртутьсодержащих пород; добывающие и перерабатывающие руды различных металлов, где ртуть выступает как сопутствующий компонент; предприятия химической и электрохимической промышленности. Существенное загрязнение окружающей среды происходит и при сжигании жидкого и твердого топлива, а также при использовании ртути для экстрагирования и концентрирования золота. По существующим оценкам за счет хозяйственной деятельности человека в окружающую среду ежегодно поступает

до 10 000 тонн ртути. Существенная роль в загрязнении окружающей среды этим токсичным металлом принадлежит крупным городам. Так, город с населением в 1 млн. человек поставляет со сточными водами в окружающую среду от 40 до 80 тонн ртути в год. Все это приводит к тому, что в настоящее время из-за техногенного загрязнения накопление ртути и других тяжелых металлов в антропогенных очагах значительно превышает их содержание в естественных геохимических провинциях, что инициирует возникновение искусственных аномалий и перераспределение металлов и их соединений в природной среде.

Ртуть и ее соединения, поступающие в окружающую среду из природных и техногенных источников, испытывают в ней различные трансформации. Пары ртути, находящиеся **в воздушной среде**, не только токсичны для животных и человека, но они также и фитотоксичны ускоряя старение растений. Поступая из воздушной среды с осадками или в процессе растворения в воде, ртуть наиболее выражено проявляет в ней свое негативное экологическое воздействие в виде подавления жизнедеятельности одноклеточных водорослей и рыб, нарушения фотосинтеза, ассимиляции нитратов, фосфатов, соединений аммония и т. д. Неорганические формы (элементарная ртуть Hg^0 и неорганический ион Hg^{2+}) претерпевают преобразования в результате окислительно-восстановительных процессов. Пары ртути окисляются в воде в присутствии кислорода в двухвалентную ртуть (Hg^{2+}), чему в значительной мере способствуют присутствующие в водной среде органические вещества. В свою очередь, ионная ртуть, поступившая или образовавшаяся в воде, может образовывать комплексные соединения с органическим веществом. Наряду с окислением паров ртути образование Hg^{2+} может происходить и при разрушении ртутьорганических соединений.

Неорганическая ртуть Hg^{2+} претерпевает два важных вида превращений в окружающей среде. Первый – восстановление с образованием паров ртути, является ключевым в глобальном круговороте металла. Известно, что некоторые бактерии способны осуществлять это преобразование. Второй важной реакцией, которой подвергается Hg^{2+} в природной среде, является превращение ее в метил- и диметилпроизводные и их последующие взаимопревращения друг в

друга. Эта реакция играет ключевую роль в локальном круговороте ртути. Важно то, что метилирование ртути происходит в самых различных условиях: в присутствии и отсутствии кислорода, разными бактериями, в различных водоемах, в почвах и даже в атмосферном воздухе. Что касается водной среды, то, каким бы путем ртуть не попадала в воду, микроорганизмы метилируют ее, и при этом всегда образуется метилртуть. Метилирование ртути в водной среде может осуществляться в процессе её биоаккумуляции в живых организмах. Особенно интенсивно процессы метилирования протекают в верхнем слое богатых органическим веществом донных отложений водоемов, во взвешенном в воде веществе, а также в слизи, покрывающей рыбу. Водоросли могут поглощать ртуть из загрязненного донного грунта и служат ее источником для многих эпифитных организмов. Метилирование приводит к образованию монометил- и диметилртутных соединений. Монометилртуть (CH_3 –Hg^+) обладает высоким сродством к биологическим молекулам и чрезвычайно активно накапливается живыми организмами. **Коэффициенты накопления (**$К_н$), т. е. отношения содержания метилртути в тканях рыб к ее концентрации в воде, могут достигать значений 10^4-10^5. Поскольку метилртуть хорошо растворима в жирах, она легко проникает в живую ткань. В первую очередь, ртуть аккумулируется в фито- и зоопланктоне, которым питаются ракообразные и рыбы, а они, в свою очередь, служат кормом для птиц. В водной пищевой цепи концентрация метилртути от звена к звену увеличивается. Далее ртуть может попасть в пищевую цепочку не только водных млекопитающих, но и, это главное, **человека**. Ярким примером может служить отравление морепродуктами в 1952-1953 гг. людей, живших в рыбацких деревушках вдоль залива Минамата в Японии, которые умирали от неизвестной болезни. Лишь спустя некоторое время болезнь была идентифицирована как результат отравления метилированной ртутью. Исследования показали, что жертвы употребляли в пищу моллюсков, содержащих ртуть. Загрязнение воды залива ртутью происходило в результате сброса сточных вод предприятием, расположенным на берегу залива. Впоследствии эта болезнь стала известна как болезнь «Минамата». Ртуть характеризуется малым

временем пребывания в воде и быстро переходит в донные отложения в виде форм, сорбированных взвесью, и соединений с органическими веществами. Накопленная донными отложениям, она может служить вторичным источником хронического загрязнения, действующего длительное время после того, как исчезнет первоначальный источник. Отличаясь высокой растворимостью и испаряемостью, диметилртуть улетучивается из водной среды в атмосферу, где может превращаться в монометилртуть, удаляться с дождевыми осадками и возвращаться в водоемы и в почву, завершая, таким образом, локальный круговорот ртути (рис. 5 и 6).

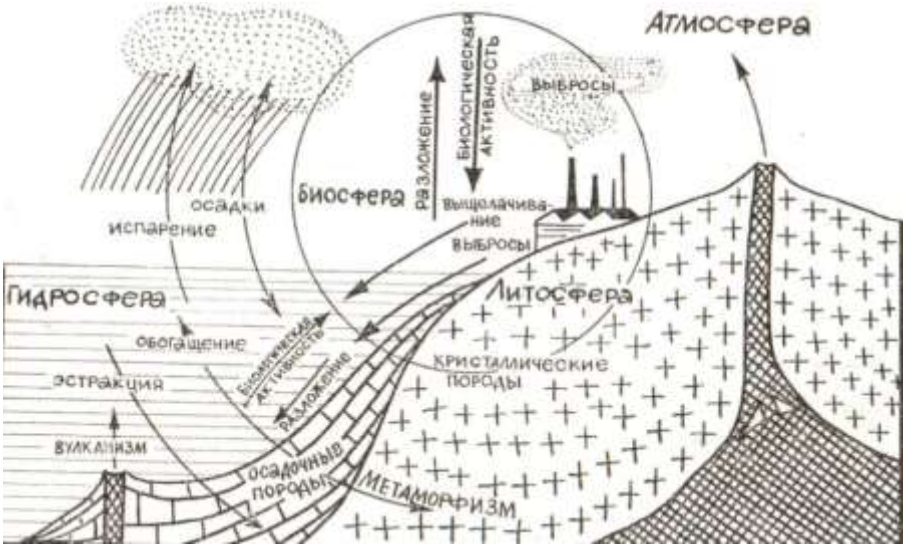


Рис. 5. Биологический круговорот ртути

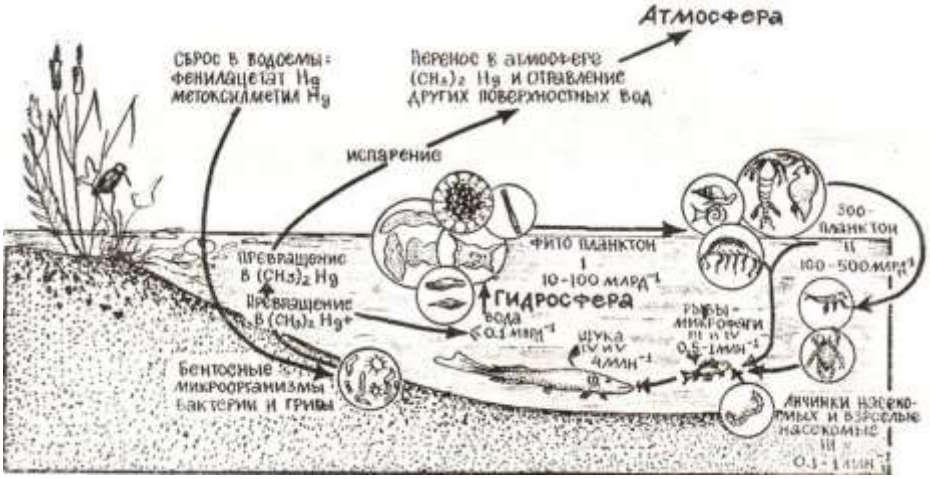


Рис. 6. Потоки ртути в водной экосистеме

Учитывая вышесказанное, не меньшую проблему загрязнения ртутью водных экосистем представляет создание искусственных водохранилищ и уве-

личение площади озер. В 70-х годах прошлого века появилась информация о быстром росте содержания ртути в организме рыб вновь созданных водохранилищ, даже при фоновых уровнях ее присутствия в воде рек, породах и почвах зон затопления. Была отмечена прямая зависимость концентрации ртути в рыбе от площади затопления, а именно, при увеличении площади затопления возрастала концентрация ртути в рыбе. Это объясняется ускорением процессов метилирования ртути, во-первых, за счет повышения содержания органики во вновь затопленных зонах (усиливается скорость микробиального метилирования), а во-вторых, за счет изменения способствующих этому факторов (снижение pH воды, изменение кислородного режима и аэробных условий придонного уровня водоема). При старении водохранилища или озера в донных отложениях начинает преобладать анаэробная флора, благодаря чему, ртуть связывается с соединениями серы или другими органическими веществами и ее биодоступность снижается. Поэтому в старых водоемах в условиях присутствия большого количества серы даже при концентрациях ртути в донных отложениях, достигающих 1 000 мг/кг, ее содержание в гидробионтах может не превышать норму. Именно поэтому во вновь созданных водохранилищах часто наблюдают высокое содержание ртути в рыбе, иногда равное аналогичным показателям в рыбе, выловленной из сильно загрязненных промышленными отходами водоемов – оно может достигать 5 мг/кг при норме 0,5-1,0 мг/кг веса рыбы. В новых водоемах максимальное содержание ртути в рыбе наблюдается в период первых 2-9 лет, а затем через 15-30 лет оно снижается и возвращается к исходному.

В почвах большая часть ртути связывается **гуминовыми кислотами** и **гумином**, поэтому увеличение содержания гуминовых кислот в почве снижает количество ртути, усваиваемой растениями. Микроорганизмы могут разрушать такие комплексы с образованием металлической ртути, которая, испаряясь, вновь попадает в атмосферу.

Содержание ртути в растениях составляет около 0,0001 мг. Минимальное ее количество (0,01-0,02 мг/кг) накапливается в растениях, растущих на почвах с низкими концентрациями ртути (до 0,10 мг/кг), но, по мере повышения ее

концентрации в последних, содержание ртути в надземных и подземных органах растений увеличивается до 0,018-3,0 мг/кг.

Повышенные концентрации ртути оказывают на растения токсическое действие, что обусловлено способностью этого металла вызывать в клетках окислительный процесс, проявляющийся в изменении функциональных показателей растений. Ртуть оказывает влияние на биохимические процессы, снижает содержание фотосинтетических пигментов, в результате чего растения отстают в росте и теряют **тургор.** Фитотоксичность видоспецифична и напрямую зависит от дозы токсиканта, условий выращивания и функционального состояния растений. У высших растений корневая система накапливает ртуть и играет роль барьера, причем тонкие корни накапливают ее в большей степени, чем крупные. Накопление ртути в растениях коррелирует с уровнем загрязнения почвы. В качестве растения-суперконцентратора ртути можно привести березу, зола листьев которой может содержать до 1% металла. Из лекарственных растений, содержащих ртуть, можно назвать одуванчик лекарственный (корни) и душицу обыкновенную (трава). Мхи и хвойные растения сорбируют ртуть из атмосферного воздуха и прочно удерживают ее.

2.4. Воздействие ртути на организм человека

Ртуть не является элементом, необходимым для жизнедеятельности человека и других организмов и, по-видимому, не выполняет никакой физиологической роли, но, в силу глобального присутствия в окружающей среде, наличествует в них в крайне незначительных концентрациях. Так, в организме среднего человека ее содержится порядка 13 мг. Однако в последнее время появились сведения о том, что она обладает определенным биотическим эффектом и оказывает в количествах, соответствующих физиологическим (т. е. нормальных для человека концентрациях), стимулирующее влияние на процессы жизнедеятельности, играет роль в передаче информации, заложенной в ДНК и т.д. Иначе говоря, полное удаление ртути из организма, видимо, нежелательно, а те 13 мг, присутствующие в нашем организме естественным образом, должны всегда в

нем содержаться. В то же время надежно установлено, что ртуть (в дозах, превышающих физиологическую потребность, что, к сожалению, легко достижимо) токсична для всех форм жизни, причем практически в любом своем состоянии, за редким исключением. В соответствии с рекомендацией Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) максимальное количество ртути, поглощаемое человеком в день, не должно превышать 0,3 мг, причем не более 0,2 мг должно быть в виде метилртути.

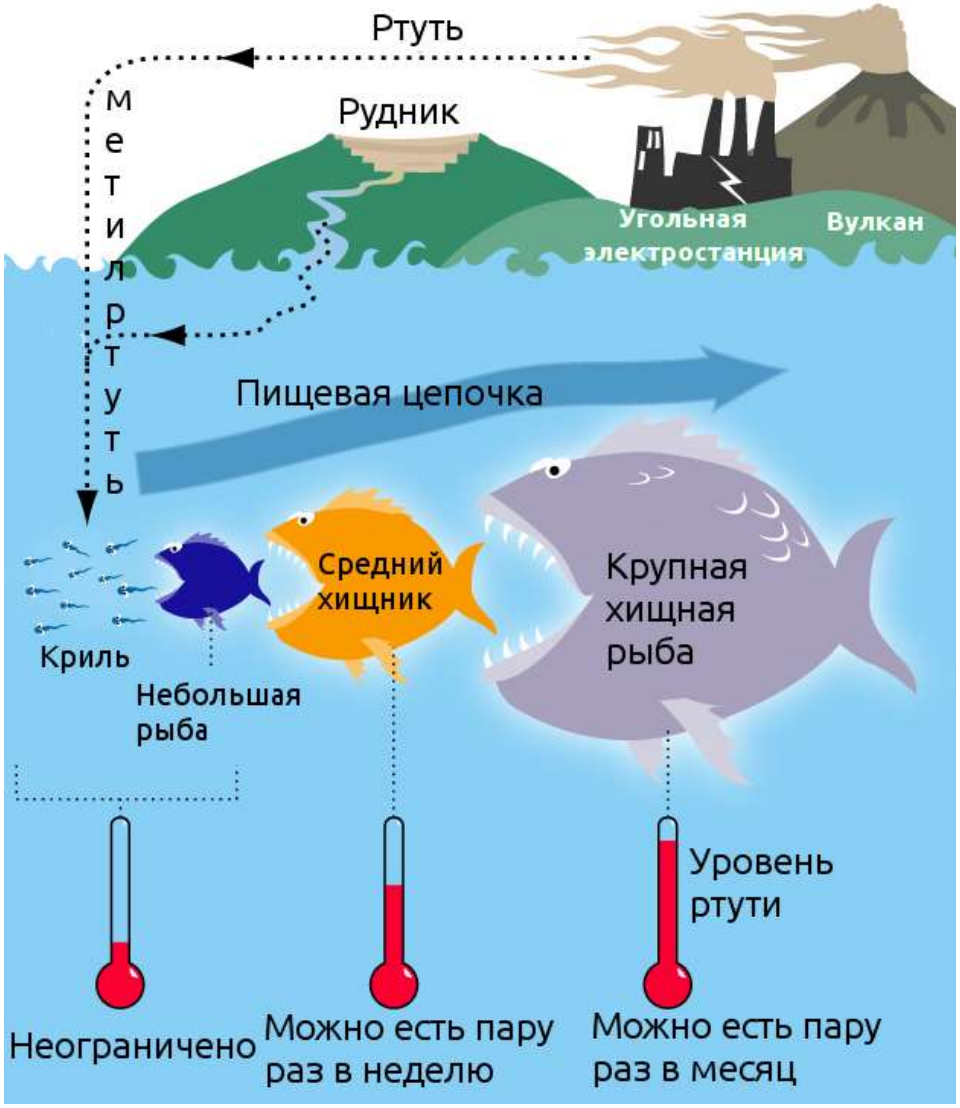


Рис. 7. Ртуть в пищевой цепочке человека

Пары ртути и ее соединения действительно очень токсичны, хотя сама металлическая ртуть сравнительно не опасна, а опасны ее соединения, образовавшиеся за время нахождения металла в организме. В то же время прием внутрь 1 г растворимой соли ртути летален (в пересчете на ртуть для этого до-

статочно 150-300 мг), а токсические эффекты проявляются уже при дозе ртути равной 0,4 мг. Необходимо отметить, **что пары ртути не имеют запаха.**

Ртуть отличается чрезвычайно широким спектром и большим разнообразием проявлений токсического действия, которое зависит от свойств веществ, в виде которых она поступает в организм (пары металлической ртути, неорганические или органические соединения), путей поступления и дозы. Она оказывает токсическое действие на взрослых и на детей, на мужчин и на женщин. **Основные пути воздействия ртути на человека** – это поступление с загрязненным воздухом, с пищевыми продуктами и питьевой водой, хотя не исключены и другие, случайные, но нередкие в обыденной жизни пути воздействия, а именно: через кожу, при купании в загрязненном водоеме, при поедании детьми загрязненной почвы и т. п. Токсическое действие ртути и ее соединений зависит от их биологической доступности. Неорганические соединения ртути могут всасываться в кишечнике до 5-15% от поступившего количества, а метилртуть – до 95%, из вдыхаемого воздуха усваивается до 80% паров неорганической ртути.

Выводится ртуть из организма преимущественно через почки с мочой и через кишечник с калом, пото- и слюноотделением, при кормлении с молоком. Из организма беременных выводится через плаценту в плод. В организме ртуть циркулирует в крови, соединяясь с белками; частично откладывается в печени, в почках, селезёнке, ткани мозга и др.

Ртуть принадлежит к числу тиоловых ядов, блокирующих сульфгидрильные группы белковых соединений и этим нарушающих белковый обмен и ферментативную деятельность организма. Особенно сильно она поражает нервную и выделительную системы. При воздействии ртути возможны **острые** (проявляются быстро и резко, обычно при больших дозах) и **хронические** (влияние малых доз ртути в течение относительно длительного времени) **отравления.**

Острые отравления парами ртути происходит при быстром поступлении их в организм в значительных количествах и обычно связаны с авариями на производстве, происшествиями в быту, в результате элементарной безграмотности. Идентифицируемые симптомы ртутного отравления наступают при ее содержа-

нии (0,2-0,6)*10^{-4}%. Такой уровень может быть достигнут при ежедневном поглощении здоровым человеком 0,3-1 мг ртути. Острое отравление парами или солями ртути проявляется в виде набора симптомов: как правило, тотчас же после отравления происходит потеря аппетита, появляются головная боль, слабость, металлический привкус во рту, слюнотечение. Температура в некоторых случаях повышается до 38-40^{0}С, наблюдаются озноб и симптомы, лихорадки. Характерен упадок сердечной деятельности, пульс становится редким и слабым, возможны обмороки. Темнеют, набухают и кровоточат десны, появляются тошнота, рвота, повышенная температура, отдышка, воспаление дыхательных путей и кровавый понос, в зависимости от степени отравления. Обычно при острых ртутных отравлениях не наблюдается изменений нервной системы, характерных для хронических отравлений. При сильном отравлении возможен летальный исход. Стоит заметить, что у каждого человека разная восприимчивость к токсинам, в зависимости от здоровья, возраста, образа жизни и др.

Острые отравления солями ртути во многом напоминают отравления парами ртути. К наиболее токсичным неорганическим соединениям ртути относится сулема ($HgCl_2$), иодид ртути (I), цианид и нитраты ртути. Наиболее часто наблюдается интоксикация сулемой. Смертельная доза сулемы колеблется в пределах 0,1-0,4 г. Попадающие в желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) соли ртути быстро всасываются через слизистую оболочку и вызывают глубокие изменения в тканях организма. При острых отравлениях солями ртути набухают дёсны, наблюдается их покраснение, они начинают кровоточить. На деснах появляется темная кайма сульфида ртути, развивается стоматит, зубы расшатываются. Лимфатические и слюнные железы набухают, начинается обильное слюноотделение. Во рту ощущается металлический вкус. В животе появляются резкие боли, начинается рвота, как правило, с кровью и желчью, которая во многих случаях является для пострадавшего спасительной, поскольку при этом выводится основная масса ядовитой соли. Острое отравление сопровождается слизистым поносом, обычно тоже с кровью, слизистая оболочка желудка и двенадцатиперстной кишки покрывается многочисленными язвами. В некоторых

случаях летальный исход отравления солями ртути наступает через 10-30 и даже более чем через 50 дней. Однако известны молниеносные формы интоксикации солями ртути, когда при сравнительно небольших количествах соли (1 г сулемы, 0,4 г цианистой ртути) больные погибали в бессознательном состоянии в течение 24-36 ч. Наиболее характерным при этом является внешний вид крови, которая становится жидкой, как вода, и черной, как деготь. Следует отметить, что органические соединения ртути многократно токсичнее металлической ртути, сулемы и других неорганических соединений.

Первое, что необходимо сделать при остром отравлении:

– удалить пострадавшего из места отравления;

– дать ему выпить 2 стакана воды, желательно с добавлением марганцовки (слабый раствор);

– спровоцировать рвоту;

– прополоскать ротовую полость, горло слабым раствором марганцовки;

– выпить пару стаканов воды;

– назначается также: промывание желудка, прием слабительного;

– вызвать врача или скорую помощь. В этом случае важен фактор времени.

Универсальным антидотом против отравления тяжелыми металлами является «Унитиол».

Хронические отравления парами ртути (меркуриализм) встречаются гораздо чаще и наступают при сравнительно продолжительной работе (иногда в течение нескольких лет) в помещениях, воздух которых содержит незначительные количества паров ртути. В этих случаях в первую очередь наблюдают изменения со стороны нервной системы. **На первой стадии хронической интоксикации** больной начинает быстро утомляются, у него начинается сонливость, апатия, головные боли и головокружения – типичные признаки ртутной неврастении. Больной начинает стремительно терять вес, наблюдается анорексия. Появляется дрожание, усиливающееся при волнениях; оно начинается обычно с пальцев рук, переходит затем на веки, губы, язык и даже на все тело. При тяжелом отравлении дрожание усиливается настолько, что ходьба, еда и речь становятся почти невоз-

можными. Наблюдается ослабление мышечной силы, и прежде всего силы разгибателей кисти. Также могут быть замечены повышенная потливость, отек кистей рук и стоп, фотофобия. Наблюдается также расстройство кожной чувствительности и вкусовых ощущений, резко снижается острота обоняния. К ранним признакам ртутного отравления относится увеличение щитовидной железы, судороги в конечностях, ускоренное потоотделение, частые позывы к мочеиспусканию. При хроническом отравлении может происходить органическое поражение подкорковых узлов; с этим связано появление у человека своеобразной нервно-психической раздражительности (ртутный эретизм), часто наступает бессонница или сон становится тревожным, наполненным кошмарами, у человека слабеет память, появляется беспричинный страх и депрессивное состояние. При более тяжелых изменениях нервной системы, обусловленных ртутными отравлениями (ртутная энцефалопатия), происходит нарушение психики и интеллекта, человек впадает в бредовое состояние, а в тяжелых случаях ртутного отравления наступает смерть, которой предшествует резкое ухудшение здоровья и малокровие. Кроме нервной системы поражаются и другие органы человека. В органах пищеварения, печени и почках не происходит каких-либо значительных изменений. Однако по последним данным при хронической ртутной интоксикации кора надпочечников не остается неизменной, и это имеет определенное значение для патогенеза токсического процесса. В результате хронического ртутного отравления происходят нарушения и сердечнососудистой системы. Это выражается в функциональных изменениях миокарда: развивается тенденция к учащению или замедлению сердцебиения, понижается кровяное давление, что объясняется блокадой сульфгидрильных групп хеморецепторов сосудов – сужающего аппарата стенок сосудов, а также тонуса блуждающего нерва. Картина крови при хронических ртутных отравлениях меняется незначительно, так что сдвиги в ее формуле, как правило, не могут указывать на интоксикацию организма парами ртути.

В проблеме ртутной интоксикации особое место занимает вопрос о **микромеркуриализме** – совокупности патологических изменений, которые возникают в результате длительного воздействия на организм паров ртути в очень небольших

концентрациях. Обычно различают **три степени интоксикации при воздействии очень малых количеств ртути. Первая степень** микромеркуриализма характеризуется снижением работоспособности, быстрой утомляемостью, повышенной возбудимостью. **При второй степени** микромеркуриализма указанные выше явления становятся более выраженными, появляются головные боли, ничем неоправданное беспокойство, человек становится очень раздражительным, память у него заметно слабеет. Наряду с этим слизистая оболочка рта воспаляется, десны начинают кровоточить, наблюдаются катаральное воспаление верхних дыхательных путей, частые позывы к мочеиспусканию. Наконец, **при третьей степени** микромеркуриализма возникают симптомы, которые мало чем отличаются от симптомов, характерных для хронического отравления ртутью.

Отравление ртутью при беременности может привести к развитию у младенца атрофии коры головного мозга и мозжечка, церебрального паралича. Постнатальное отравление может привести к появлению головных болей, нарушения зрительной, слуховой и речевой функций, потерям памяти, расстройства координации, параличам, парестезии, эретизму, ступорам, коме и смерти. Иногда, некоторые из этих симптомов сопровождают человека в течение всей жизни.

В настоящее время установлено, что наряду с общетоксическим действием ртуть и ее соединения вызывают гонадотоксический (воздействие на половые железы), эмбриотоксический (воздействие на зародыши), тератогенный (пороки развития и уродства) и мутагенный (возникновение наследственных изменений) эффекты. Есть сведения о возможной канцерогенности неорганической ртути.

Многие симптомы отравления парами ртути исчезают при прекращении их воздействия и принятии соответствующих мер, но трудно достичь полного устранения психических нарушений.

При отравлениях органическими соединениями ртути преобладают признаки одновременного поражения центральной нервной (энцефалополиневрит) и сердечнососудистой систем, желудка, печени, почек.

Метилртуть наиболее опасна, поскольку легко проникает в ткани через биологические мембраны и накапливается во многих жизненно важных орга-

нах. Метилртуть более чем на 95% усваивается при любом способе поступления в организм. Выделяют ряд наиболее вероятных токсических эффектов, оказываемых метилированными соединениями ртути на человека:

1. Заболевания репродуктивной системы. Прямых доказательств воздействия метилртути на репродуктивную систему человека нет, однако, существующие исследования, проведённые в местностях, где наблюдались вспышки отравления, указывают на снижение плодовитости и учащение случаев спонтанных абортов.

2. Заболевания сердечнососудистой системы. При употреблении морепродуктов, зараженных метилртутью, увеличивается риск возникновения сердечных приступов. Людям, склонным к повышенному кровяному давлению, не следует употреблять морепродукты каждый день. Суточное потребление рыбы в настоящее время не должно превышать 30 г.

3. Иммунотоксический эффект. Ртутьорганические соединения оказывают воздействие на иммунную систему, как у взрослого человека, так и у плода. Неприятным последствием отравления метилртутью является проникание ртути в плаценту и накапливание ее в плоде, причем мать не испытывает при этом болезненных ощущений. Новорожденные, которые были подвержены воздействию метилртути, будучи в утробе матери, имеют более низкий иммунный статус, больше подвержены различным инфекционным заболеваниям и аутоиммунным расстройствам.

4. Канцерогенное воздействие. Ртутьорганические соединения провоцируют развитие различных онкологических заболеваний. Чаще всего, среди людей, испытывавщих интоксикацию метилртутью, встречаются больные лейкемией.

5. Нейротоксический эффект. Нервная система ребёнка и плода более чувствительна к воздействию метилртути, хотя мозг взрослого человека тоже уязвим. В процессе развития зародыша, воздействие ртутьорганики на организм матери может провоцировать нарушение роста развивающихся нейронов в мозгу и других участках нервной системы, что может привести к необратимым нарушениям развивающей ЦНС. После рождения ребёнка, его развитие в первое время может

незначительно отличаться от других детей, однако впоследствии произошедшие нарушения будут сказываться на его общем умственно развитии, которое будет ниже, чем у здоровых детей. Будут отмечаться отклонения мышечного тонуса и двигательных функций, проблемы концентрации внимания и т. д.

6. Нефротоксический эффект. Как правило, у людей, испытывающих интоксикацию метилртутью через потребление заражённой пищи, наблюдаются нарушения работы почек.

При появлении симптомов хронического ртутного отравления следует, в случае необходимости, оказать пострадавшему **первую помощь**, заключающуюся в облегчении состояния отравившегося и состоящую из следующих мероприятий: организовать поступление свежего воздуха в комнату; промыть большим объемом воды желудок; вызвать рвоту; применить активированный уголь; обеспечить обильное питье; обеспечить больному постельный режим и обратиться к врачу. **По статистике, в 65% случаев это – легкие отравления.** Для уточнения диагноза необходим анализ крови и волос. В случае его подтверждения используют медикаментозное лечение, например, комплексную терапию в условиях стационара. Выбор методов лечения и лекарственных препаратов определяют врачи.

2.5. Профилактика ртутной интоксикации

В случае проживания или длительного нахождения на загрязненной территории для снижения нагрузки на организм необходимо использовать профилактические мероприятия.

В случае работы на «ртутном» предприятии рекомендуется ежедневное полоскание полости рта раствором перманганата калия (марганцовка), полное исключение или ограничение приема наиболее опасных по содержанию ртути продуктов, по возможности смена работы.

Поскольку поступление ртути в организм человека происходит главным образом за счет употребления загрязненных продуктов питания, питьевой воды, при вдыхании паров ртути из атмосферного воздуха, **проживая на загрязнен-**

ной территории необходимо учитывать это при питании и полностью исключать или ограничивать наиболее опасные (в порядке убывания) по содержанию ртути продукты: морскую рыбу, рыбий жир, моллюсков, водоросли, речную рыбу, фрукты и овощи, молоко и яйца, мясо. Чтобы избежать попадания ртути в организм человека с продуктами питания, используют методы защиты предприятий пищевой промышленности, обеспечивающие получение экологически чистой продукции, в частности, моллюсков и некоторые виды рыб выращивают на фермах, где вода фильтруется, а овощи и фрукты произрастают в специальных тепличных комплексах.

Правильный выбор и технология приготовления пищи также снижает нагрузку по токсиканту на организм. Поскольку ртуть является кумулятивным ядом, то это обстоятельство следует учитывать при выборе продуктов. Так, в молодых животных ее меньше, чем в старых, а в хищниках больше, чем в тех объектах, которыми они питаются. Особенно этим отличаются хищные рыбы такие, как *тунец*, в нем ртуть может накапливаться до 0,7 мг/кг и более. Поэтому хищной рыбой лучше не злоупотреблять в питании. Из других животных продуктов почки животных являются накопителем ртути (до 0,2 мг/кг сырого продукта). Но поскольку почки при кулинарной обработке предварительно многократно вымачивают по 2-3 ч со сменой воды и дважды вываривают, то в оставшемся продукте содержание ртути уменьшается почти в 2 раза. Такая технология позволяет снизить концентрацию в готовом к употреблению продукте и других тяжелых металлов и радиоизотопов. Следует отметить, что из растительных продуктов ртуть больше всего содержится в орехах, в какао-бобах и шоколаде (до 0,1 мг/кг), тогда как в большинстве остальных продуктов ее содержание не превышает 0,01-0,03 мг/кг.

Также, чтобы обезопасить себя от возможного воздействия ртути в бытовых условиях, необходимо в максимальной степени исключить использование содержащих ртуть устройств и препаратов: заменить ртутный термометр на аналоги, например, на электронный, избегать применения ртутных энергосберегающих ламп и ртутных ламп ДРЛ и ДРШ, например, заменить их на свето-

диодные, которые не только более экономичны, но и безопаснее в случае поломки/разбитии; соблюдать правили хранения и использования пестицидов и препаратов, содержащих высокотоксичные соединения ртути (сулему, каломель, мертиолят), регулярно проветривать помещение.

Медикаментозную профилактику необходимо выбрать в соответствии с рекомендациями врачей.

Профилактические мероприятия имеют важное значение, поскольку неблагополучные экологические ситуации, связанные с деятельностью предприятий, являющихся источниками загрязнения ртутью, сказываются на здоровье проживающего в этих районах населения. Так, в Братском водохранилище 16% рыбы содержит ртуть в количестве, превышающем ПДК в 1,5-4 раза. Например, в окуне она достигает 6 мг/кг, а в карасе – 4,25 мг/кг при смертельной дозе 20 мг/кг. Из опрошенных жителей 34% съедают более 200 г рыбы в сутки. Следует отметить, что **ВОЗ/ФАО** рекомендуют взрослому человеку съедать в сутки не более 100 г рыбы, при содержании в ней ртути не свыше 0,5мг/кг (ПДК=0,5 мг/кг). У населения прибрежных районов содержание ртути в волосах и моче было в 5 и более раз выше, чем у жителей контрольной группы. При обследовании у жителей практически здоровые лица встретились в 5,8 раза реже, чем в контрольном поселке. При оценке риска возникновения патологических синдромов изменения со стороны нервной системы выявлены в 49,5%, артериальной гипертонии – 38,1%, ИБС – 33,3%, пограничные психические расстройства – 26,7%. При обследовании группы риска в условиях стационара в 80% симптомы вегетативной дистонии сочетались с изменениями психоневрологического статуса, нарушения иммунитета и эндокринной системы – в 88% и 62% соответственно. Выявленные нарушения характерны для воздействия метилртути.

2.6. Нормирование безопасных концентраций ртути

Учитывая высокую токсичность ртути, ее способность к транслокации, к аккумулированию различными организмами и негативному воздействию на ор-

ганизм человека, одним из важных направлений защиты явилась разработка нормативных актов, определяющих безопасные уровни воздействия ртути на человека для различных сред – предельно допустимых концентраций (ПДК). Так, **для производственных условий** разработана предельно допустимая концентрация содержания паров ртути в воздухе рабочей зоны ($ПДК_{рз}$), обеспечивающая безопасность работающих во вредных условиях при соблюдении этой нормы $ПДК_{рз}$=0,01 мг/ $м^3$ воздуха. **Для воздуха населенных мест** разработана норма среднесуточного содержания в воздухе паров и аэрозолей ртути $ПДК_{сс}$=0,0003 мг/$м^3$.

Для водной среды установлены предельно допустимые концентрации ртути для водоемов хозяйственно-питьевого назначения $ПДК_{х/п}$= 0,0005 мг/$дм^3$ (эта величина определяет и максимальное содержание ртути в питьевой воде из под крана). Для водоемов рыбохозяйственного назначения норма предусматривает полное отсутствие в воде метилртути.

В почве по транслокационному показателю вредности установлено безопасное валовое содержание ртути на уровне 2,1 мг/кг почвы с учетом **кларка**.

Поскольку пища является определяющим источником поступления ртути в организм, были разработаны предельно допустимые концентрации (ПДК) в продуктах питания (ПП) с учетом норм потребления последних. Это означает, что при нормативном потреблении ПП с содержанием в них ртути, не превышающим $ПДК_{пр}$ (в мг/кг), токсикант не вызовет вредных для организма человека последствий. Ниже приведены $ПДК_{пп}$ ртути для некоторых основных видов пищевых продуктов (мг/кг):

– крупа, мука, крупяные изделия – 0,03;

– морская рыба – 0,6;

– овощи, ягоды, фрукты – 0,02;

– хлеб и хлебобулочные изделия – 0,01;

– мясо, птица и продукты из них – 0,03;

– молоко и молочные продукты – 0,005.

3.7. Демеркуризация

Несмотря на существующие меры защиты организационного и технического характера многочисленные случаи пролива ртути встречаются в различных городах и поселках РФ и происходят в самых различных помещениях, что обусловлено не только неправильным обращением с ртутными приборами или незаконным хранением металлической ртути, но и целенаправленными (часто в преступных целях) ее разливами в жилых помещениях, общественных зданиях и коммерческих организациях. В последние годы ртуть уже неоднократно использовалась с целью умышленного нанесения вреда здоровью людей и совершения терактов (металлическую ртуть целенаправленно разливают в школах, подъездах, на избирательных участках, в офисах коммерческих организаций и т. д.; ртуть обнаруживают в различных пищевых продуктах, сигаретах, детских игрушках). Количество изъятого при этом правоохранительными органами металла изменялось от 10-60 кг до 1,5 т. В г. Санкт-Петербург ртутное загрязнение было обнаружено почти в 50% школ и 30% детских дошкольных учреждений города. Все это определяет высокую вероятность длительного воздействия паров ртути на детей и подростков, т. е. на одну из наиболее чувствительных к ртутной экспозиции категорий населения. Исследования, выполненные в Москве, установили, что примерно в 25-30% обследованных школ и детских садов существуют скрытые («застарелые») источники паров ртути различной интенсивности. Именно поэтому важно знание не только правил безопасного поведения в такой ситуации, но и владение навыками устранения источника опасности, причем ситуация может возникнуть не только в силу вышеприведенных причин, но и результате попадания в помещение ртути из термометра по неаккуратности или неосторожности. Комплекс мероприятий, связанных с удалением и нейтрализацией ртути и ее паров с загрязненных поверхностей, называется **демеркуризацией** и осуществляется в два этапа. **Первый этап** заключается в механическом удалении пролитой ртути. В силу своих физических свойств – легкой подвижности и большого поверхностного натяжения –

металлическая ртуть в случае ее пролива разбивается на мелкие капли и рассеивается по помещению, легко проникая в трещины полов, стен, мебели, оборудования. Испаряясь, она загрязняет воздух помещения. Поэтому очистку помещения от ртути начинают с механических действий. Однако сначала, при обнаружении пролива ртути, необходимо сообщить об инциденте в местное отделение МЧС и далее выполнить следующие действия:

1) из помещения, где был обнаружен пролив, вывести всех находящихся там людей с целью локализации и исключения разноса ртути по остальным помещениям;

2) предотвратить доступ людей в помещение, в котором пролита ртуть;

3) открыть окна и закрыть все двери, для обеспечения притока свежего воздуха и исключения сквозняка, который может разнести ртутные пары по соседним помещениям;

4) надеть бахилы, резиновые перчатки, респиратор или же ватно-марлевую повязку, смоченную водой или крепким раствором соды для защиты органов дыхания от действия паров ртути.

Рис. 8. Ликвидация пролива ртути

Удаление капель ртути производят с помощью щеток, кисточек, резиновых груш или насосов. Если ртути немного, для более эффективного сбора их следует смочить при помощи кисточек пастой Перегуд (смесь двуокиси марганца и 5% раствора соляной кислоты в соотношении 1:2). Пленка, образующаяся на поверхности капель ртути, делает их малоподвижными и легко поддающимися уборке. Ртуть собирают на бумагу или в эмалированный совок, затем переносят в стеклянную емкость с водой, после чего закрывают ее плотной крышкой. Механическим способом можно удалить до 80% разлитой ртути. При сборе шариков ртути, необходимо быть предельно осторожным, не следует наступать на стеклянные осколки термометра, если он явился причиной пролива. Лишь после механического сбора капель ртути можно приступать **ко второму этапу демеркуризации**, заключающемуся в обработке загрязненных поверхностей химическими агентами (демеркуризаторами) с целью перевода остаточной ртути в нелетучие соединения и облегчения механического удаления ртути с загрязненных поверхностей. Физико-химические процессы, протекающие при взаимодействии металлической ртути с демеркуризаторами, заключаются в эмульгировании ртути, ее окислении, превращении в малолетучие вещества. Эмульгирование переводит ртуть в высокодисперсное состояние, увеличивая тем самым ее активную поверхность и способность взаимодействовать с другими веществами. Помимо эмульгирующего действия, демеркуризаторы при взаимодействии с ртутью лишают ее подвижности, что позволяет использовать их и для собирания капелек ртути.

В качестве демеркуризаторов используют:

– мыльно-содовый раствор (4% раствор мыла в 5% водном растворе соды);

– пиролюзит (паста, состоящая из одной весовой части пиролюзита и двух весовых частей соляной кислоты);

– 0,2% раствор перманганата калия, подкисленного соляной кислотой (5 мл кислоты уд. вес 1,19 на 1 л перманганата калия);

– 20% водный раствор хлорного железа (приготовление раствора осуществляется на холоде);

– 5-10% водный раствор сернистого натрия;

– 4-5% водный раствор полисульфида натрия или кальция;

– 4-5% раствор моно- или дихлорамина;

– 25-50% водный раствор полисульфида натрия;

– 5-10% раствор соляной кислоты; порошок эдементарной серы S^0;

– 2-3% раствор йода в 30% водном растворе йодида калия.

На зараженные ртутью поверхности с использованием средств распыления наносится демеркуризационный раствор. Время взаимодействия ртути и демеркуризатора должно составлять 1,5-2,0 суток. Когда условия не позволяют проводить длительную обработку остаточной ртути демеркуризаторами, их следует удалить через 2-6 ч. Обрабатываемые поверхности тщательно протирают мягкой кисточкой или щеткой, особенно в местах, где имеются выбоины или трещины и где может скопиться ртуть.

Способы применения некоторых демеркуризаторов

Демеркуризация раствором окисного хлорида железа

Приготовление реактива.

200 г хлорида окисного железа (6-и водного) $FeCl_3.6H2O$ или 100-120 г безводной соли $FeCl_3$ растворяют при перемешивании в 800 мл воды. Растворение следует производить в стеклянной или толстостенной железной посуде, причем порошок хлорида железа всыпают понемногу при постоянном перемешивании в отмеренный объем воды.

Полученный водный раствор хлорида железа желтого цвета, вследствие гидролиза обладает кислой реакцией. Гидролиз увеличивается по мере разбавления раствора и при его нагревании. При стоянии из раствора выпадает основная соль в виде аморфного осадка.

Применение реактива.

Раствор хлорида железа должен применяться в качестве демеркуризатора после тщательного удаления основных количеств видимой ртути.

Раствор заливают на обрабатываемую поверхность слоем 2-3 мм (0,5 л на 1 $м^2$ площади или ведро на 25 $м^2$ площади) и протирают им пол при помощи мягкой кисточки или щетки, особенно тщательно в местах, где имеются выбоины или трещины. Если позволяют условия работы, то раствор хлорида железа оставляют до полного высыхания (1,5-2 суток), после чего вымывается мыльной, а затем чистой водой. Следует исключить сильное трение во избежание разрушения защитных оболочек на частицах металлической ртути.

Если длительная обработка раствором хлорида железа неприемлема, удаление его вместе с эмульгированной ртутью может быть произведено через 4-6 ч. Также при этом необходимо избегать сильного трения.

Раствор хлорида железа можно применять для окрашенной деревянной поверхности, пола из плиток, изделий из железобетона и др. На неокрашенном деревянном паркетном полу могут оставаться желтые пятна. Металлические, не покрытые краской, поверхности разъедаются водными растворами хлорида железа, поэтому, при необходимости, используются другие демеркуризаторы.

Демеркуризация при помощи двуокиси марганца

Приготовление реактива.

1. Порошок двуокиси марганца.

2. Соляная кислота, 5% раствор.

3. Реактивная смесь: смешивают 1 часть двуокиси марганца и 2 части 5% раствора соляной кислоты.

Применение реактива.

После очистки поверхности от видимой ртути наносят при помощи кисточки реактивную смесь на поверхность слоем 5-6 мм и оставляют до высыхания. Затем смесь эмульгированной ртути и избыток двуокиси марганца смывают водой. Реактивной смесью можно пользоваться также и для собирания капель ртути, так как при действии ее ртуть теряет свою подвижность и легко поддается уборке. Реактивной смесью целесообразно замазывать щели и пазы поверхностей, загрязненных ртутью.

Демеркуризация подкисленным раствором перманганата калия

Приготовление реактива.

1. Перманганат калия, 0,2% раствор. Раствор готовят растворением порошка сухого перманганата калия в небольшом количестве горячей воды. Затем доливают воду комнатной температуры до концентрации перманганата 0,2%.

2. Соляная кислота концентрированная.

3. Реактивная смесь: к 1 л 0,2% раствора перманганата калия при постоянном перемешивании добавляют 5 мл концентрированной соляной кислоты.

Применение реактива.

Приготовленный раствор пульверизатором или мягкой кистью наносят на загрязненную поверхность до сильного увлажнения и оставляют на несколько часов.

После демеркуризации рекомендуется прополоскать рот и нос 0,025% раствором перманганата калия и почистить зубы, обильное питье любой жидкости, а также фрукты и овощи. В целях профилактики рекомендуется также принять активированный уголь в терапевтической дозировке.

Если случайно разбился ртутный термометр

В том случае, если ртутный термометр разбился в образовательном учреждении, на работе или дома, необходимо вызвать экстренные службы МЧС и выполнить следующие рекомендации:

– из помещения, где был обнаружен пролив, вывести всех находящихся там людей с целью локализации и исключения разноса ртути по остальным помещениям;

– предотвратить доступ людей в помещение, в котором пролита ртуть;

– открыть окна и закрыть все двери, для обеспечения притока свежего воздуха и исключения сквозняка, который может разнести ртутные пары по соседним помещениям;

– надеть бахилы, резиновые перчатки, респиратор или же ватно-марлевую повязку, смоченную водой или крепким раствором соды для защиты органов дыхания от действия паров ртути.

После этого можно приступить к механической, а затем химической демеркуризации. В течение недели необходимо проветривать помещение, в котором была разлита ртуть.

В том случае, когда была разбита ртутная лампа, также следует провести весь комплекс действий по ликвидации остатков ртути.

В том и другом случаях необходимо работу вести осторожно чтобы не получить повреждения от острых осколков стекла.

Отметим, что ртутный термометр содержит порядка 2 г ртути, а энергосберегающие люминесцентные газоразрядные лампы от 1 до 70 мг.

Контрольные вопросы

1. Какие свойства ртути определили ее широкое использование человеком?

2. Какие свойства ртути обеспечивают ее присутствие во всех природных средах?

3. Охарактеризуйте два основных вида превращений ртути в природных средах.

4. В чем заключается специфика поведения ртути в водной среде и последствия его для человека?

5. Охарактеризуйте пути поступления ртути в организм человека и их специфику.

6. Каковы механизмы токсического действия ртути на организм человека? Острая и хроническая интоксикация. Симптомы отравления.

7. Первая помощь при остром отравлении ртутью.

8. Профилактика ртутной интоксикации.

9. Нормирование безопасных концентраций ртути в природных средах и продуктах питания.

10. Каковы возможные ситуации контакта со ртутью и ее соединениями в бытовых условиях? Насколько опасен разбившийся ртутный термометр? Демеркуризация и ее принципы.

3. КАДМИЙ (Cd)

Кадмий (Cd). Элемент с атомным номером 48 периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева. Среди всех токсичных и особо токсичных элементов кадмий по темпам и масштабам загрязнения стал одним из приоритетных загрязнителей планеты. После накопления большого объема информации по токсикологии кадмий признан особо опасным **экотоксикантом** для человека, что обусловлено проявлением токсических эффектов соединений кадмия в низких дозах; длительным периодом полувыведения; преимущественным накоплением в мягких тканях, почках и печени. Кадмий – токсичный элемент, относящийся к высоко опасным веществам. При нормальных условиях это серебристо-белый мягкий металл с температурой плавления 321 С и температурой кипения 770 С. Во влажной атмосфере на его поверхности образуется плёнка оксида, которая препятствует дальнейшему окислению металла. Кадмий является химическим аналогом цинка и ртути и занимает между ними промежуточное положение. Значительную важность с точки зрения поведения техногенных потоков кадмия в окружающей среде имеют такие его свойства, как высокая летучесть, определяющая легкость испарения в пирометаллургических технологиях, и хорошая растворимость солей в воде и, особенно, в кислых растворах. Кадмий относится к редким рассеянным элементам. Его среднее содержание в земной коре **(кларк)** находится в пределах $1{,}310^{-5}$-$1{,}610^{-5}$% (вес.), а средняя концентрация в литосфере – порядка 130 мг/т. Концентрация кадмия в морской воде составляет 0,11 мкг/л. Горные породы весьма разнятся по содержаниям кадмия (от 0,035 мг/кг в известняках до 0,2 мг/кг в вулканических). Так, в песчаниках его концентрации составляют порядка 0,03 мг/кг, в известняках – 0,035 мг/кг. В глинах содержание этого вещества достигает 0,3 мг/кг, а в почве среднее значение находится на уровне – 0,06 мг/кг. Каменный уголь содержит кадмий в количестве порядка 0,5 мг/кг. Хотя известно всего шесть собственных минералов кадмия, он присутствует в виде примеси во многих минералах, не образует самостоятельных месторождений, но входит в состав руд других металлов (Zn, Pb, Cu

и др.), которые служат сырьем для его получения. Суммарные мировые запасы кадмия оценивают в 20 млн. т, промышленные – в 600 тыс. т, а годовые объемы производства составляют порядка 20 тыс. т металла.

3.1. Использование кадмия человеком

Ценные свойства кадмия определили его широкое использование во многих сферах деятельности человека а, следовательно, и масштаб техногенного фактора, связанного с попаданием этого металла в окружающую среду. Кадмий широко используется при производстве химических источников тока (никель-кадмиевых и серебряно-кадмиевых аккумуляторов, свинцово-кадмиевых и ртутно-кадмиевых элементов), обладающих длительным сроком эксплуатации, малым уровнем обслуживания, физической прочностью и т. п. По удельной емкости (на единицу веса) никель-кадмиевые аккумуляторы в два раза эффективнее свинцовых, что важно при их использовании в электротранспорте. Они применяются повсеместно там, где требуются высокие плотности тока без предварительного прогрева (троллейбусы, трамваи, электрокары, электропоезда, бытовая техника, радиоаппаратура и т. п.). Кроме того эти источники тока имеют длительный срок жизни (свыше 30 лет). Широкое применение кадмий нашел в качестве антикоррозийного покрытия, особенно в тех случаях, когда необходимо обеспечить надежность и устойчивость деталей и механизмов, работающих в специфических условиях (высокие давления, морская и космическая среды и т. п.). Сплавы кадмия, обладающие антифрикционными свойствами, позволяют использовать их при изготовлении подшипников для автомобильных, авиационных и судовых двигателей. Способность кадмия очень хорошо поглощать тепловые нейтроны (большие значения сечения захвата) позволяет изготавливать регулирующие стержни для атомных реакторов и защиту от нейтронов. Эти свойства иногда используют в экспериментальных моделях противоопухолевой терапии. Добавка небольших количеств кадмия к меди (менее 1%) позволяет повысить износостойкость контактных проводов для электрического транспорта без ухудшения их электрических свойств. Кроме этого

кадмий и его соединения используют в качестве стабилизаторов в органическом синтезе, в производстве сплавов, используемых в различных отраслях. Так, небольшие добавки кадмия существенно снижают температуру плавления других металлов, что позволяет использовать такие сплавы в технологии точного литья, при изготовлении полых фигур, в качестве легкоплавких предохранителей, в металлографии и при изготовлении припоев, на что идет порядка 10% от общего количества производимого в мире кадмия. Пигменты на основе цветных соединений кадмия используют в живописи и при росписи керамики, а в пиротехнике используют его свойство придавать огню синий цвет. Используют его и во многих других сферах, в частности при изготовлении полупроводников и люминофоров, в криогенной технике и т. д. Незначительные примеси кадмия могут присутствовать в продуктах нефтепереработки, моющих средствах и т. п.

3.2. Источники поступления кадмия в окружающую среду

Широкое использование кадмия в различных сферах деятельности человека является причиной постоянного увеличения его концентрации в окружающей среде, несмотря на меры, принимаемые с целью снижения объемов использования этого металла в некоторых технологиях (аккумуляторы, пигменты, антикоррозийная защита металлов и т. д.). Таким образом, присутствие кадмия в топливе (каждая тонна каменного угля содержит в среднем 2 г кадмия), удобрениях, рудных отвалах и в других широко используемых человеком ресурсах, определяет постоянное увеличение его концентрации в окружающей среде. Поскольку кадмий и его соединения токсичны, то кадмиевая интоксикация становится одной из приоритетных проблем. Помимо различных сфер использования кадмия, откуда его соединения попадают в окружающую среду (фосфорные удобрения, органическое топливо и т. д.), необходимо отметить предприятия цветной металлургии, которые, несмотря на очистку технологических выбросов, поставляют кадмий в атмосферный воздух и водоемы. Так, выбросы кадмия предприятиями цветной металлургии оценивают в 5 тыс. т/год, а эмиссии в

атмосферный воздух при сжигании мусора в 1,5 тыс. т/год. Другим источником поступления кадмия в окружающую среду являются свалки и предприятия по переработке твердых бытовых отходов (сжигание пластика, выщелачивание из мусора атмосферными осадками). При сжигании древесины и производстве фосфорных удобрений ежегодно в окружающую среду поступает порядка 0,2 тыс. т/год из тех более семи с лишним тысяч тонн, ежегодно рассеиваемых человеком в окружающей среде в течение последних 70-80 лет. Для сравнения следует отметить, что вулканические выбросы кадмия оценивают в 0,52 тыс. т/год, а поступления из растительной ткани – 0,2 тыс. т/год.

Таблица 2

Техногенные источники кадмия

Основные источники Cd	Выброс (% от общего)
Цинковые заводы	60
Медно-никелевые заводы	23
Сжигание топлива	10
Сжигание отходов	3
Прочие	4

(Сжигание мазута и дизельного топлива служит дополнительным источником кадмиевого загрязнения)

Необходимо отметить, что после того, как была доказана высокая токсичность кадмия, число техногенных источников его выбросов в окружающую среду существенно сократилось, особенно в промышленно развитых странах.

3.3. Поведение кадмия в окружающей среде

Поскольку в последнее время антропогенный фактор становится определяющим в поступлении кадмия в окружающую среду и загрязнении атмосферного воздуха, почвы и поверхностных пресных вод, это обстоятельство в значительной мере определило его повышенное содержание в воздушной среде городов и промышленных районов в пределах от 2 до 15 нг/м3 и от 15 до 150 нг/м3 соответственно, а в сельской местности от 0,1 до 5,0 нг/м3. Находясь в воздушной среде в виде тонкодисперсных аэрозолей осаждающихся на поверхность почвы и воды, кадмий загрязняет последние. Распространение атмосферных

выбросов кадмия на значительные расстояния от источников подтверждается обнаружением его наряду с другими ТМ в кернах льда Гренландии. Широкое использование минеральных удобрений, содержащих кадмий в виде примесей, также способствует увеличению его содержания в почвах, откуда кадмий поступает в растительные и животные организмы, а поскольку он обладает способностью аккумулироваться в отдельных звеньях трофической цепи, то в опасных количествах может поступать в организм человека.

В естественных условиях в водную среду кадмий попадает в результате выщелачивания из руд и разложения растительных и водных организмов, способных его аккумулировать. Помимо этого в водоемы кадмий попадает с атмосферными выпадениями и в результате фильтрации в водоемы почвенной влаги, в которой его концентрация существенным образом зависит от pH. Преимущественными формами нахождения кадмия в водной среде являются растворимые хлориды, сульфаты и нитраты, а также содержащая его тонкодисперсная взвесь органических и минеральных комплексов. По оценкам ВОЗ, незагрязненные природные воды содержат данный металл в количествах 0,02-0,3 мкг/дм^3. В регионах с высокой концентрацией промышленных предприятий его концентрация может достигать нескольких десятков микрограмм на литр.

Попав однажды в окружающую среду, кадмий циркулирует в ней, а его новые эмиссии добавляются к уже циркулирующему количеству, что характеризует его способность к аккумуляции. В воздушной среде, куда кадмий поступает от техногенных источников (предприятия цветной металлургии, теплоэнергетики, сельское хозяйство, автотранспорт, свалки и т. п.), он находится преимущественно в виде тонкодисперсных аэрозолей. Их поведение в окружающей среде и их влияние на отдельные компоненты среды определяется химической формой нахождения кадмия в составе аэрозолей, местонахождением источника и условиями выброса. В случае нахождения источника выбросов вблизи мест с высокой плотностью населения наибольшую опасность представляет токсическое действие кадмия на человека, реализуемое различными путями его

поступления в организм. Ингаляционный путь попадания аэрозолей через легкие обеспечивает последующее поступление токсиканта в кровь и различные органы и ткани организма. В городской среде этот путь интоксикации может быть реализован в значительной степени и за счет вторичного загрязнения воздуха при пылении загрязненных поверхностей почвы и дорожных покрытий, на которые кадмий попадает в результате седиментации первичных аэрозолей. В этом случае вторичное загрязнение представляет наибольшую опасность для детей. Для них представляет опасность и пероральный путь попадания кадмия в организм с загрязненной почвой. Следует отметить, что почва, в силу своих физико-химических свойств, аккумулирует кадмий, и ее загрязнение сохраняется длительное время. Так, в крупных промышленных городах концентрация этого металла воздухе может в 15 раз превышать ПДК, а его содержание в верхних слоях почвы превышает таковое в сравнении с контрольными участками в 20-50 раз. Загрязнение почвы кадмием сохраняется длительное время и после того, как прекращается его поступление.

Поведение кадмия, попадающего на поверхность почвы в виде осаждающихся аэрозолей и в результате внесения удобрений, может, с одной стороны, приводить при определенных условиях (время года, погодные условия и др.) к пылеуносу с поверхности почвы и загрязнению воздуха, а с другой – к попаданию в растения, произрастающие на этих территориях и с водосборных бассейнов рек и водоемов, с почвенной влагой в близлежащие водоемы. Наличие среди соединений кадмия значительного количества растворимых в воде и водных растворах соединений обусловливает его мобильность в почве, биодоступность и способность к биологической аккумуляции. Основная часть металла в почве связывается с химическими почвенными комплексами, которые могут усваиваться растениями. Это обстоятельство определяет высокие коэффициенты накопления токсиканта растениями, достигающими у некоторых видов значительных величин, что может привести к попаданию ощутимых количеств кадмия в организм человека. В этом отношении особое место занимает табак, выступающий в качестве суперконцентратора кадмия, активно поглощающий его

из почвы во время роста и в больших количествах накапливающий в листьях (концентрация кадмия в сухих листьях в тысячи раз превышает средние значения для биомассы наземной растительности). В результате одна сигарета (приблизительно 1 г табака) содержит от 1,2 до 2,5 мкг кадмия, порядка 25% которого остается в организме курильщиков, а остальное попадает в окружающую среду. Среди дикоросов большую опасность представляют грибы. Так, луговые шампиньоны могут накапливать до 170 миллиграмм кадмия на **килограмм** грибов. Не нужно сбрасывать со счета и прямое аэрозольное загрязнение растительного материала. Все это увеличивает риск загрязнения продуктов питания со всеми вытекающими отсюда последствиями. Учитывая вышесказанное, охрана почв от загрязнения кадмием имеет особое значение, поскольку в организм человека порядка 80% этого токсиканта поступает именно с пищей, а остальное – через легкие.

В водную среду техногенный кадмий поступает преимущественно в результате атмосферных выпадений на зеркало водной поверхности, в составе хозбытовых и промышленных сточных вод и с талыми водами и почвенной влагой с водосборных бассейнов. В пресноводных водоемах pH воды чаще всего лежит вблизи нейтральных значений (6,5-8,5), где кадмий может присутствовать в различных формах, что зависит от свойств воды и природы соединений металла, поступающего в водоем. Это могут быть ионные или частично гидролизованные формы кадмия, коллоидные гидроокисные формы и сорбированные на естественно присутствующей в воде взвеси. В водных системах кадмий может образовывать соединения с растворенными органическими веществами, особенно если в их структуре присутствуют сульфгидрильные группы SH. Он также образует комплексы с аминокислотами, полисахаридами, гуминовыми кислотами. Однако само по себе присутствие высоких концентраций этих лигандов еще недостаточно для снижения концентрации свободных ионов кадмия до уровня, безопасного для живых организмов. Следует отметить, что адсорбция ионов кадмия взвесью и, соответственно, донными осадками сильно зависит от кислотности среды. В нейтральных средах свободный ион кадмия

практически полностью сорбирован частицами взвеси и донными отложениями, выполняющими для него функцию депо. В пресноводной среде кадмий большей частью поглощается гидробионтами непосредственно из воды, тогда как морские организмы, напротив, поглощают кадмий из пищи. Кадмий легко аккумулируется многими гидробионтами, в особенности **бактериями и моллюсками**, для которых коэффициенты его накопления достигают нескольких тысяч. В загрязненных районах высокие концентрации кадмия обнаруживают в организме морских животных, имеющих раковину или панцирь.

По отношению к растениям кадмий обычно проявляет меньшую токсичность в сравнении с метилртутью и сопоставим по токсичности со свинцом. Содержание кадмия в воде на уровне 0,2-1 мг/л замедляет фотосинтез и рост растений. Отмечено, что токсичность его заметно снижается в присутствии некоторых количеств цинка, что свидетельствует о возможности конкуренции ионов этих металлов в организме за участие в ферментативном процессе.

Для пресноводных рыб порог острой токсичности кадмия варьирует в пределах от 0,09 до 105 мкг/л, а преимущественное накопление происходит в почках, жабрах и печени.

Учитывая, что питьевая вода является ресурсом необходимым для жизнедеятельности человека в объеме 2-2,5 литра в сутки, для нее установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) в размере 0,001 мг/дм^3. Это означает, что токсикант не вызовет вредных для организма человека последствий при употреблении воды такого качества в течение всей его жизни. Установленные ПДК$_{рх}$ для воды водоемов рыбохозяйственнного назначения составляют 0,005 мг/дм^3 и обеспечивают благоприятные условия в водоеме с таким или менее содержанием кадмия для ведения рыбоводства.

На **загрязнение почвы кадмием** стоит обратить особое внимание, поскольку кадмий в силу кумулятивных свойств почвы все больше накапливается в ней и попадает различными путями в пищевые цепи человека и животных. Поступление кадмия в почву за счет различных источников увеличивает уже имеющиеся (нередко значительные) его концентрации в верхних ее слоях. Ре-

зультаты исследований баланса кадмия в верхних слоях пахотной почвы свидетельствуют о том, что поступление этого токсиканта по-прежнему превышает его удаление. В итоге кадмий накапливается в почвах и водосборных бассейнах, увеличивая тем самым риск будущего воздействия через пищевые продукты. Единого мнения относительно приемлемого безопасного содержания кадмия в пище сейчас нет, но запас безопасности между содержанием кадмия в суточном рационе, который не оказывает какого-либо воздействия, и содержанием, которое может привести к возникновению последствий, является весьма малым, а для групп населения, подверженных высокому уровню воздействия, – практически нулевым. В группы населения, подверженные риску, входят престарелые лица, диабетики и курильщики. Женщины могут быть подвержены более высокой опасности ввиду того, что с учетом более низкого содержания железа в их организмах они поглощают, по сравнению с мужчинами, более значительные объемы кадмия при одинаковом уровне воздействия. В этой связи, с учетом малого запаса безопасности, следует приложить все силы для сокращения всех видов поступления кадмия в почву. Нужно отметить, что возрастанием интереса к кадмию явилось обнаружение отрицательных биологических последствий при избыточном поступлении этого элемента в окружающую среду. В 1960-х годах в Японии произошла вспышка некой болезни. Она начиналась болями в спине и почках, а заканчивалась деформацией скелета, множественными переломами костей и ужасными страданиями, вызываемыми давление массы тела на кости. Было выявлено, что причиной послужило попадание кадмия в пищу в результате использования для питьевых нужд загрязненной им воды реки Дзинцу и орошения ею же рисовых полей и плантаций сои. В течение 15-30 лет более 150 человек умерло от хронического отравления кадмием, сопровождавшегося атрофией костей всего скелета. Этот случай вошел в историю эндемических отравлений тяжелыми металлами под названием «болезнь итаи-итаи». Уже в 70-е годы в ФРГ использование фермерами в течение нескольких лет для улучшения качества почвы ила городских очистных сооружений, содержащего кадмий, привело в итоге к настолько сильному загрязнению

токсикантом возделываемых пищевых и кормовых растений (сахарной свеклы, клубневого сельдерея, картофеля), что в 1979 году власти вынуждены были официально запретить на этих угодьях какие бы то ни было посадки, а почва, загрязненная кадмием, была свезена с полей. В ФРГ шламы очистных сооружений содержали до 275 мг/кг кадмия (в среднем 70 мг/кг), а в ряде других стран эти величины достигали 1500 мг/кг. Вполне естественно, что загрязнение кадмием водосборного бассейна реки привело и к повышенному накоплению токсиканта гидробионтами. Так, плотва из притоков, водосбор которых формировался с чистых территорий, содержала в 50 раз меньше кадмия (для печени кратность была еще выше), что заставило местные власти предостеречь от потребления рыбы в пищу. Однако через несколько лет после рекультивационных мероприятий ситуация улучшилась и предостережение было отменено. Приведенная ситуация иллюстрирует пути продвижения кадмия, находящегося в почве: «почва – растение – животное»; «почва – почвенная влага, поверхностный сток – водоем – гидробионты – донные отложения», которые исходя из имеющегося опыта, необходимо учитывать для оценки последствий.

Относительно механизма токсического воздействия кадмия на растения следует отметить, что оно приводит к нарушению процессов фотосинтеза и транспирации, изменению активности ферментов, ингибированию синтеза белков и нуклеиновых кислот, подавлению фиксации углекислого газа, затруднению поглощения корневой системой таких элементов как медь, цинк, марганец, кальций, магний, фосфор, калий и железо, может вызывать хлороз листьев и задержку развития растений, влияя, прежде всего на образование репродуктивных органов и на содержание зеленых пигментов в листьях.

Кадмий в почвах может находиться в виде ионов, различных органических или минеральных соединений, обладающих той или иной степенью подвижности и опасности для живых организмов. Главным фактором, определяющим фоновое содержание кадмия в почве, является химический состав материнской породы. За фоновый уровень принимают значения не выше 0,5 мг/кг. Содержание выше этого уровня свидетельствует об антропогенном происхож-

дении металла. Если содержание кадмия в почве превышает 3 мг/кг, то его концентрация в биомассе растений будет не менее 0,4 мг/кг, что уже может вызвать токсический эффект у животных и человека.

С точки зрения опасности загрязненной почвы для растений и почвенных организмов важной ее характеристикой является форма нахождения в ней кадмия (как и других токсикантов). Она определяется четырьмя формами, а именно: валовым содержанием (извлекаемое после озоления сильными кислотами); концентрацией металла, переходящего в вытяжку 1 н HCl; концентрацией металла, извлекающегося ацетатно-аммонийным буфером, с pH 4,8 и концентрацией металла в водной вытяжке. Наиболее подвижной и доступной для растений частью кадмия в почве является та, что содержится в почвенном растворе и именно она определяет токсичность металла в почве (поэтому токсическое действие кадмия стимулируется наличием в атмосфере оксидов серы и азота, резко понижающих величину pH выпадающих осадков). В то же время она определяется равновесием в системе твердая фаза-раствор, которое зависит от сорбционных процессов, характер и направленность которых, в свою очередь, зависит от свойств и состава почвы. Эти обстоятельства усложняют нормирование безопасных уровней содержания кадмия в почвах. Предельно допустимые концентрации этого металла, как и других ТМ, используют, в основном, в качестве ориентировочного критерия содержания извлекаемых кислотными растворами (валовых) и ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8 (подвижных) форм металлов. Для кадмия установлены следующие значения: для почвы ПДК для подвижных форм – 0,5 мг/кг и ОДК (ориентировочно допустимые концентрации) для валового содержания – 2 мг/кг. Если исходить из такого уровня токсического действия кадмия на растения, при котором происходит снижение урожайности на 5-10%, то ПДК для этого элемента составит 20 мг/кг. Однако к этим цифрам следует относиться критически, т.к. часто фоновое содержание элементов в других типах почв бывает выше этих ПДК, а экологические условия (реакция среды, содержание гумуса и вторичных минералов) ощутимо влияют на уровень токсичности металла.

Необходимо отметить, что избыточные концентрации кадмия в почве не только ингибируют микробиологические и ферментативные процессы, но и способствуют накоплению металла многими почвенными беспозвоночными, что, в конечном итоге, сказывается на плодородии. Важным обстоятельством является также то, что совместное с кадмием присутствие других ТМ вызывает усиление их токсического действия на живые организмы в почве.

Учитывая то обстоятельство, что кадмий, не являясь элементом, необходимым растениям, способен сравнительно легко поступать в последние из почвы через корневую систему и улавливаться из атмосферы ассимилирующей фитомассой, проблема поступления его в пищевые цепи является чрезвычайно важной, поскольку до 90% кадмия поступает в организм человека с пищей и водой. Важность этой проблемы связана также с высокой токсичностью этого металла, его высокой кумулятивной способностью вследствие длительности периода полувыведения из организма и, как результат, весьма малым запасом безопасности между содержанием кадмия в суточном рационе, не оказывающем какого-либо воздействия, и содержанием, которое может привести к возникновению нежелательных последствий. Различные виды сельскохозяйственных культур при одних и тех же почвенных условиях по-разному реагируют на токсическое воздействие кадмия. Примером наибольшей устойчивости к загрязнению кадмием могут служить посевы риса, фасоль же в 10-15 раз чувствительнее в сравнении с кукурузой. В этом отношении важно отметить то, что даже когда высокие концентрации токсиканта не оказывают заметного влияния на урожайность, сельскохозяйственных культур, кадмий накапливается в продукции, меняя ее качество.

Следует отметить также, что загрязнение почв кадмием, как и другими тяжелыми металлами, является необратимым, поэтому практически невозможно уменьшить валовое содержание ТМ в загрязненных почвах, но можно существенно снизить их подвижность и сделать менее доступными для растений.

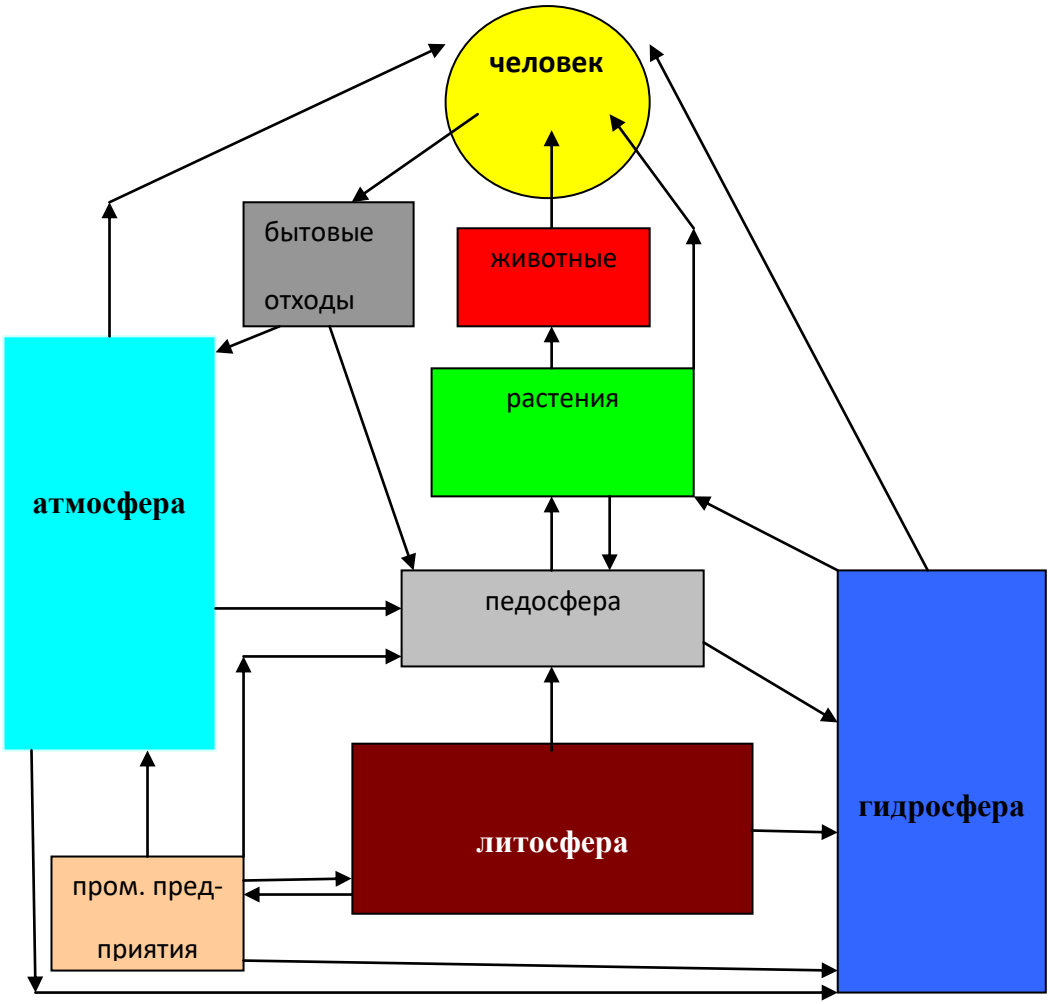


Рис. 9. Потоки кадмия в окружающей среде

Поскольку кадмий аккумулируется в гумусовом слое почв, а его вынос за пределы почвенного профиля невелик, то основной способ борьбы с загрязнением почвы, как кадмием, так и другими ТМ, состоит в снижении их содержания в пахотном слое, землеванием или удалении самого верхнего слоя. Кроме этого можно использовать различные биологические и геохимические барьеры, блокирующее дальнейшее распространение ТМ. Это могут быть лесные насаждения, водоемы, земляные сооружения и т. п. Однако следует учитывать, что действие барьеров ограничено, и чаще всего тяжелые металлы концентрируются в почве, у которой уровень устойчивости к загрязнению определяется ее буферной способностью, при превышении которой почва сама может служить вторичным источником загрязнения.

Высокая токсичность кадмия, способность к накоплению в организме человека и то, что пища является определяющим источником его поступления в

организм, привели к тому, что для него разработаны предельно допустимые концентрации (ПДК) в продуктах питания (ПП), с учетом норм потребления последних. Это означает, что при нормативном потреблении ПП с содержанием в них кадмия, не превышающим $ПДК_{пп}$ (мг/кг), токсикант не вызовет вредных для организма человека последствий.

Таблица 3

$ПДК_{пп}$ кадмия для некоторых продуктов питания

продукт	рыба	мясо	молоко	хлеб	овощи	фрукты
$ПДК_{пп}$ (мг/кг)	0,1	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03

В тоже время Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) установила допустимое поступление кадмия для взрослых людей – 500 мкг в неделю, т. е. допустимое суточное потребление (ДСП) – 70 мкг/сут., а допустимая суточная доза (ДСД) – 1 мкг/кг массы тела.

3.4. Влияние кадмия на организм человека

Кадмий и все его соединения токсичны, но в силу своего естественного присутствия в окружающей среде он в норме в небольших количествах присутствует в организме здорового человека. Большая часть кадмия поступает в организм человека с растительной пищей, меньшая – с водой и воздухом. Всасывание в кровь поглощенного с пищей и водой Cd находится на уровне 5%, с воздухом – до 80%. Ежедневный обычный уровень перорального поступления кадмия в организм находится в пределах 2-200 мкг, при средней величине 20-40 мкг. Из этого количества абсорбируется порядка 5-10%. При ингаляционном поступлении абсорбируется около 5% ингалированного кадмия, хотя абсорбция небольших, хорошо растворимых частиц может достигать 25-50%. Кадмий медленно выводится из организма. Его биологический период полувыведения оценен более чем в 20 лет.

Механизм токсического действия кадмия состоит, по-видимому, в связывании карбоксильных, амино- и, особенно, сульфгидрильных групп белковых молекул, что приводит к угнетению активности ферментных систем. Раствори-

мые соединения кадмия после всасывания в кровь поражают центральную нервную систему, печень и почки, нарушают фосфорно-кальциевый обмен. Хроническое отравление приводит к анемии, разрушению костной ткани, остеопорозу и деформации скелета, развитию гипертонии, кардиопатии, эмфиземе легких.

В печени и почках накапливается около 50% абсорбированного кадмия, что приводит к развитию почечной недостаточности. В эритроцитах и мягких тканях кадмий связывается с металлотионеином, низкомолекулярным белком, содержащим большое число свободных сульфгидрильных групп, который тем самым детоксицирует кадмий. Но при воздействии большими дозами кадмия происходит перенасыщение этого белка и снижение его защитной эффективности. В почках кадмий, связанный с металлотионеином, фильтруется в клубочках и затем реабсорбируется в проксимальных канальцах в коре почек. В связи с длительным биологическим периодом полувыведения поступающий в организм кадмий с возрастом постепенно накапливается в организме. Ежедневная его экскреция с мочой редко превышает 0,5 мкг.

Кадмий легко накапливается в быстроразмножающихся клетках, например, в опухолевых или половых, и повреждает их. Важно, что кадмий не проникает через плаценту.

Отмечают также канцерогенные свойства кадмия. Накапливается он также и в волосах, где его можно обнаружить.

Количество кадмия, попадающее в организм человека, зависит не только от потребления им содержащих кадмий пищевых продуктов, но и в большой степени от качества диеты. В частности, даже весьма незначительный недостаток железа может заметно усилить аккумуляцию кадмия. Поэтому женщины, которые в результате менструаций регулярно теряют вместе с кровью железо, более подвержены интоксикации кадмием, чем мужчины. Особой опасности подвергаются беременные, у которых потребность в железе еще выше из-за того, что плод накапливает в своей печени запасы железа, необходимые ему для первых месяцев жизни после рождения. Поэтому женщины, старательно восполняя убыль железа, могут осуществлять, по меньшей мере, относительную

профилактику. Вообще достаточное количество железа в крови, по-видимому, тормозит аккумуляцию кадмия. Помимо этого повышенной кумуляции кадмия способствует дефицит цинка и селена. В свою очередь избыток кадмия вызывает и усиливает недостаток этих элементов.

Острые и хронические формы отравления кадмием (кадмиоз) встречаются обычно в производственных условиях, в которых используют высокотемпературные технологии при работе с рудным сырьем, металлом и его сплавами, при производстве и применении красок и т. п.

Для острых отравлений обычен более или менее длительный (10-36 час, иногда – 30 мин.-2 час.) скрытый период. Начальные симптомы – сухость слизистых оболочек, неприятное вяжущее сладковатое ощущение на губах, медный вкус во рту, горловые спазмы, бледность, слабость, головокружение и головная боль (в области лба), тошнота и боль в подложечной области. Возможны дерматиты и изъязвление кожи; в тяжелых случаях наблюдают боли в грудной клетке и брюшной полости, с последующей рвотой. Затем развиваются трахеит, бронхит с приступами болезненного судорожного кашля и сильной одышкой, повышается температура.

В качестве первой помощи при остром кадмиевом отравлении рекомендуют свежий воздух, полный покой, предотвращение охлаждения. При раздражении дыхательных путей – теплое молоко с содой, ингаляции 2-процентрным раствором $NaHCO_3$. При упорном кашле – кодеин, дионин, горчичники на грудную клетку; необходима врачебная помощь. Противоядием при отравлении, вызванном приемом кадмиевых солей, служит альбумин с карбонатом натрия. Специфическое лечение кадмиевых отравлений основано на применении комплексонов (например, двойной этилендиаминтетрацетат кальция и натрия). Поскольку выведение кадмия из организма через почки и кишечник идет чрезвычайно медленно, используют препараты, увеличивающие экскрецию (введение 2,3-димеркаптопропанола-1 увеличивает ее примерно в 3 раза).

Для защиты организма человека от воздействия кадмия, относящегося к первому классу опасности токсических веществ, разработаны нормы его без-

опасного содержания в воздухе рабочей зоны – предельно допустимая концентрация для рабочей зоны ($ПДК_{рз}$), которая для неорганических соединений кадмия составляет 0,05 мг/м^3 воздуха. В случае постоянного нахождения человека в условиях «незагрязненного» атмосферного воздуха (на работе и в объектах инфраструктуры, в местах отдыха и в домашних условиях) разработаны соответствующие среднесуточные нормативы содержания кадмия в атмосферном воздухе населенных мест ($ПДК_{сс}$), обеспечивающие безопасность человека. Они составляют 0,0003мг/м^3.

Способность кадмия к накоплению в организме человека даже при поступлении малых его количеств может служить причиной хронического отравления, симптомы которого проявляются спустя некоторое время, поскольку отложение кадмия в почках вначале не вызывает сколько-нибудь заметных клинических симптомов заболевания. Далее характерными ранними **симптомами хронического отравления** малыми дозами кадмия являются снижение обоняния (вплоть до полной его потери), золотистое окрашивание десен в области зубных шеек («кадмиевая кайма»), головокружение, головная боль, нарушение аппетита и сна, поражение дыхательной системы, сбои в работе пищеварительного тракта, выделительной и нервной системы. Симптомы хронического отравления возникают и развиваются, как правило, достаточно медленно, постепенно.

Клинические проявления хронической кадмиевой интоксикации:

– сухой, долго не проходящий и надсадный кашель;

– избыточное и обильное слюновыделение;

– тошнота и рвотные позывы;

– частые боли в животе, сопровождающиеся изжогой;

– головные боли, головокружения;

– множественные судороги;

– общая слабость и сонливость;

– склонность к депрессивным состояниям;

– проявление на теле хорошо заметных участков с пониженной чувствительностью;

– выраженное онемение в конечностях;

– снижение памяти;

– желтизна на зубной эмали;

– выпадение волос;

– пониженное выделение мочи;

– отечность;

– повышенное артериальное давление.

При наличии в организме хронического кадмиевого отравления отмечается развитие анемии и поражения иммунной системы, выявляется наличие хронической почечной недостаточности. Иногда развивается эмфизема легких и недостаточность дыхательной функции, нарушение менструального цикла и выраженные проблемы, связанные с потенцией.

После превышения концентрации кадмия в почках свыше 0.2 мг/кг появляются симптомы тяжелого отравления. Самые ранние симптомы его – одышка, малокровие, почечная недостаточность и поражение нервной системы, белок в моче, нарушение функций половых органов. Позднее возникают острые костные боли в спине и ногах. Характерно также нарушение функции легких. Помимо этого предполагается канцерогенное действие кадмия.

Хроническая интоксикация кадмием связана не только с профессиональной деятельностью человека. Поступление кадмия в городские системы последовательно возрастало с увеличением разнообразия выпускаемой продукции, используемой в высоких технологиях и хозяйственно-бытовых целях. Будучи по своей природе элементом, не способным к высокой аккумуляции в геосистемах (его кларк в литосфере составляет 0,13 мг/кг), кадмий под воздействием человека превратился в элемент, аккумулирующийся в городском пространстве, где воздействию хотя и малых концентраций кадмия подвержены значительные контингенты населения, что небезопасно, учитывая высокую кумулятивность этого токсиканта. Это подтвердили анализы содержания кадмия в почках умерших за последние 50 лет, которые показали, что оно неуклонно возрастало. Самые высокие концентрации наблюдаются у жителей больших го-

родов и промышленных районов с большой плотностью населения, что добавляет к таким характерным болезням горожан, как гипертония и ишемическая болезнь, вклад кадмия.

Оценки показывают, что в США и Японии уже 5% населения находится в зоне риска, поскольку концентрация кадмия у этого контингента уже почти достигла установленного критического уровня. Также относительно большее в Японии, по сравнению с другими странами, количество кровоизлияний в мозг закономерно связывают, в том числе, и с инициирующим гипертонию кадмиевым загрязнением, которое в этой стране является очень высоким. Отмечают и очень малую разницу между содержанием кадмия в организме современных подростков и критической величиной, при которой придется считаться с нарушениями функции почек, болезнями легких и костей. Особенно это касается **курильщиков**. Последнее обстоятельство очень важно, поскольку в силу кадмийкумулирующей способности табака к поступающему количеству кадмия с пищей и водой регулярно добавляется доза токсиканта, обусловленная его содержанием в табаке (до 2 мг/ кг сухого веса). Оценка этой дозы показывает, что, при вышеприведенном содержании кадмия в табаке и весе табака в одной сигарете порядка 1 г, количество токсиканта, поступающего в легкие курильщика при выкуривании одной сигареты может достигать 2 мкг, из которых порядка 25% остается в организме курильщика, а остальное попадает в окружающую среду. В связи с этим в организме курильщиков в среднем больше кадмия, чем у некурящих. По существующим оценкам, в печени и почках это почти двукратное превышение по сравнению с некурящими. Помимо накопления в почках, со всеми вытекающими отсюда последствиями, длительное воздействие поступающего в легкие с табачным дымом оксида кадмия вызывает рак легких. По существующим оценкам, среди умерших от рака легких 80% были курильщиками.

Среди бытовых известны случаи отравления кадмием при изготовлении фруктовых соков, варенья и т. п. в посуде, в состав эмали которой входило это вещество. Отмечают опасность использования сосудов, материал которых со-

держит кадмий, для питья лимонадов, соков и других напитков, имеющих кислую реакцию.

Учитывая, что основное количество кадмия, поступающего в организм человека, связано с пищей и водой, следует минимизировать это количество путем исключения из рациона потенциально опасных продуктов питания и недопустимости контакта кадмия и его соединений с пищевыми продуктами.

Поскольку кадмий накапливается в определённых органах животных (особенно в почках), следует сократить регулярное употребление в пищу этого продукта. Такая же рекомендация относится к дикорастущим грибам, отдельные виды которых склонны к накоплению значительных количеств кадмия (в частности, луговые шампиньоны). Недопустимо также использовать ил донных отложений в качестве удобрений на огородах, так как картофель, сахарная свекла, сельдерей накапливают кадмий.

3.5. Профилактика кадмиевой интоксикации

Острые формы кадмиевой интоксикации встречаются редко и, преимущественно, в производственных условия, тогда как хроническому воздействию малых количеств токсиканта подвержены значительные контингенты населения. Хотя это и не связано с ярко выраженными проявлениями кадмиевой интоксикации, но наносит ущерб здоровью людей. Так, ведомство по охране окружающей среды ФРГ отмечает, что население испытывает столь большую кадмиевую нагрузку, что в стране насчитывается от 10 000 до 100 000 лиц, страдающих нарушениями почечной функции.

В данных случаях, учитывая высокую токсичность кадмия, его склонность к накоплению в организме, естественность источников (пища, вода) и пути его поступления в организм (пищевой тракт, легкие), следует использовать профилактические меры снижения кадмиевой нагрузки на организм. Особо это касается людей, проживающих вблизи предприятий, использующих кадмий в технологических процессах.

К мероприятиям профилактического характера, снижающим риск развития кадмиевого отравления, следует отнести, в первую очередь, выявление возможных источников загрязнения окружающей среды кадмием как в прошлом, так и в настоящее время, и ознакомиться с реальной санитарно-гигиенической обстановкой. Исходя из полученной информации, минимизировать или полностью исключить пребывание на загрязненной территории и, тем более, использование в пищу собираемой (добываемой) с нее продукции.

В бытовых условиях регулярно проверять питьевую воду на наличие токсичных металлов; полностью исключить контакт кадмия и его соединений с пищевыми продуктами; соблюдать правила безопасного хранением содержащих кадмий составов и предметов (фунгициды, аккумуляторы, краски и глазури, удобрения и т. д.); строго соблюдать инструкции по грамотному и безопасному использованию средств, содержащих кадмий.

Проконсультировавшись с врачом, использовать в питании сбалансированную диету с достаточным количеством белков, железа, кальция и цинка, витаминов, овощей и фруктов.

Отдельной чрезвычайно важной и в тоже время простой рекомендацией является запрет на активное и пассивной курение, тем более, что в настоящее время специфического антидота на кадмий не существует.

Следует также отметить, что при кадмиевой интоксикации полноценная терапия выполняется после госпитализации больного в стационар.

Контрольные вопросы

1. Техногенные и бытовые источники поступления кадмия в окружающую среду.

2. Основные сферы использования кадмия человеком.

3. Поведение кадмия в окружающей среде и формы его нахождения в ней. Кумулятивные свойства.

4. Источники загрязнения почвы кадмием и его экологические последствия, в том числе и для человека.

5. Особенности поведения кадмия в водной среде.

6. Источники и пути поступления кадмия в организм человека.

7. Механизмы токсического действия кадмия на организм человека. Органы-депо и органы-мишени.

8. Острая и хроническая интоксикация кадмием. Симптомы отравления. Бытовая интоксикация.

9. Нормирование безопасного содержания кадмия в природных средах и продуктах питания.

10. Профилактика кадмиевой интоксикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях основой деятельности человека становится принцип экологической рациональности, включающий разработку и практическое использование систем, технологий и способов, обеспечивающих получение экологически безопасной продукции растениеводства и животноводства. К числу главных загрязнителей объектов окружающей среды относятся тяжелые металлы. Размеры их распространения и интенсивность миграции в окружающей среде приобрели опасный характер для нормального функционирования экосистем и для здоровья человека. В связи с этим возникает реальная необходимость разработки стратегии регулирования уровня ТМ в экосистеме, то есть системе «атмосфера – почва – вода – растения – животные – человек», базирующейся на взаимосвязанных и взаимообусловленных процессах их круговоротов.

Микроэлементы, в том числе и тяжелые металлы, играют большую роль во взаимоотношениях живой и неживой природы. Основная их часть в экосистемах аккумулируется почвенным покровом, однако значительные количества циркулируют в окружающей среде с участием своих специфических процессов, что в итоге сказывается в воздействии на организм человека. Последнее определяется направлением и характером действующего фактора. Поэтому знание этих обстоятельств позволяет в значительной мере обезопасить человека от негативного воздействия тяжелых металлов в различных сферах жизнедеятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Л. : ВО Агропромиздат, 1987. – 140 с.

2. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия : учебник / В. А. Алексеенко. – М. : Логос, 2000. – 627 с.

3. Барышников, И. И. Экологическая токсикология / И. И. Барышников, А. О. Лойт, М. Ф. Савченко. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1991. – Ч. 1. – 162 с.; Ч. 2. – 281 с.

4. Витер, В. Н. Ртуть. Mercury / В. Н. Витер // Химия и химики. – 2018. – № 1.

5. Вредные вещества в промышленности. Том 3: Неорганические и элементорганические соединения / под ред. засл. деят. науки проф. Н. В. Лазарева и Э. Н. Левиной. – Л. : Химия, 1977. – 608 с.

6. Горбатов, В. С. Трансформация соединений и состояние цинка, свинца и кадмия в почвах : автореф. дис… канд. биол. наук / Горбатов В. С. – М. : МГУ, 1983. – 24 с.

7. Грузинов, Е. В. Пища с точки зрения химика. Ртуть и другие / Е. В. Грузинов // Химия. – 1999. – № 14.

8. Добровольский, В. В. Глобальные циклы миграции тяжелых металлов / В. В. Добровольский // Развитие идей В. И. Вернадского в геологических науках. – М. : Наука, 1991. – С. 86-96.

9. Добровольский, В. В. Основы биогеохимии / В. В. Добровольский. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 342 с.

10. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука. Сиб. Отд-ние, 1991. – 151 с.

11. Корте, Ф. Экологическая химия : пер. с нем. / Ф. Корте, М. Бахадир, В. Клайв [и др.]. – М. : Мир, 1997. – 402 с.

12. Краснопеева, И. Ю. Распространение ртути и ее соединений в окружающей среде и влияние на организм человека / И. Ю. Краснопеева // Сибирский медицинский журнал. – 2005. – Т. 53, № 4.

13. Лавыгина, Н. Ртуть и другие… Действие химических элементов на организм человека / Н. Лавыгина. – URL: https://hr-portal.ru/article/rtut-i-drugiedeystvie-himicheskih-elementov-na-organizm-cheloveka. – Текст : электронный.

14. Медведев, И. Ф. Тяжелые металлы в экосистемах / И. Ф. Медведев, С. С. Деревягин. – Саратов : Ракурс, 2017. – 178 с.

15. Микшевич, Н. В. Тяжелые металлы в системе «почва-растение-животное» в зоне действия медеплавильного комбината / Н. В. Микшевич, Л. А. Ковальчук // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы : материалы II Всес. конф. МГУ. – М., 1988. – С. 127-130.

16. Микшевич, Н. В., Ковальчук Л.А. Водная среда и безопасность человека : учебное пособие по курсу «Экология и безопасность жизнедеятельности» / Н. В. Микшевич, Л. А. Ковальчук ; Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург, 2014. – Ч. 1. – 120 с.

17. Мищенко, В. П. Токсичные металлы и беременность / В. П. Мищенко // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 1997. – № 6. – С. 59.

18. Мотыляев, А. Н. Кадмий: факты и фактики / А. Н. Мотыляев // Химия и жизнь. – 2013. – № 9.

19. Мудрый, И. В. Влияние химического загрязнения почвы на здоровье населения / И. В. Мудрый // Гигиена и санитария. – 2008. – № 4. – С. 32-37.

20. Обухов, А. И. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами и мероприятия по их устранению / А. И. Обухов // Поведение поллютантов в почвах и ландшафтах. – Пущино, 1990. – С. 52-59.

21. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (Доп. №1 к перечню ПДК и ОДК №6229-91) : гигиенические нормативы. – М. : Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1995. – 8 с.

22. Позняковский, В. М. Гигиенические основы питания и экспертизы продовольственных товаров : учебник / В. М. Позняковский. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 1996. – 432 с.

23. Реймерс, Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н. Ф. Реймерс. – М., 1994. – 367 с.

24. Свинец в окружающей среде / отв. ред. В. В. Добровольский. – М. : Наука, 1987. – 180 с.

25. Скальный, А. В. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение) : практическое руководство для врачей и студентов медицинских вузов. – М. : Изд-во «Научный мир», 1999. – 95 с.

26. Титова, В. И. Экотоксикология тяжелых металлов : учебное пособие / В. И. Титова, М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова. – Н. Новгород : НГСХА, 2001. – 135 с.

27. Учебник спасателя / С. К. Шойгу, М. И. Фалеев, Г. Н. Кириллов [и др.] ; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Краснодар : Сов. Кубань, 2002. – С. 392-396.

28. Химическая безопасность для устойчивого развития // ФОРУМ V Пятая сессия Межправительственного Форума по химической безопасности. – Будапешт, Венгрия, 25-29 сентября 2006. – Заключительный отчет.

29. Химия окружающей среды : пер. с англ. / под ред. Дж. Бокриса, А. П. Цыганкова. – М. : Химия, 1982. – 672 с.

30. Хотунцев, Ю. Л. Экология и экологическая безопасность : учебное пособие для студентов высших педагогических учебных заведений / Ю. Л. Хотунцев. – М. : Изд. центр «Академия», 2002. – 480 с.

31. Цинк и кадмий в окружающей среде / отв. ред. В. В. Добровольский. – М. : Наука, 1992. – 199 с.

32. Эйхлер, В. Яды в нашей пище. Взрывная волна токсикантов окружающей среды в пищевых цепях: избранные аспекты, факты и аргументы / В. Эйхлер ; под ред. д-ра биол. наук Б. Р. Стригановой ; пер. с нем. Г. И. Лойдиной и В. А. Турчаниновой. – М. : Мир, 1985. – 189 с.

33. Электронный ресурс. – URL: https://gufo.me/dict/medical_encyclopedia/. – Текст : электронный.

ГЛОССАРИЙ

IQ (коэффициент интеллекта) – показатель умственных способностей человека, который определяет способность логически мыслить, измеряет критическое мышление и общий уровень знаний.

АТФ (аденозинтрифосфат) – участвует в процессах метаболизма и регулирует биохимические реакции в организме.

Воздействие хроническое – непрерывное воздействие экологических факторов, обусловливающее, как правило, негативные физиологические изменения в живых организмах.

Геофагия – поедание земли.

Ингаляционный – путь попадания в организм через дыхательные пути (рот, нос) различных соединений путём их вдыхания.

Интоксикация – нарушение жизнедеятельности организма в результате попадания в него яда или токсина (отравление).

Кларк, кларковое число или кларк элемента – это число, выражающее среднее содержание (весовое – %, в г/т или в г/г или атомное – в % от числа атомов) химического элемента в земной коре или горных породах.

Концентрация фоновая – концентрация загрязняющего вещества, не учитывающая вклада исследуемого источника или группы источников загрязнения.

Ксенобиотики – группа веществ, которые не могут быть использованы организмом ни для производства энергии, ни для построения каких-либо тканей, а их биохимические свойства оказывают токсическое действие на живые организмы, в том числе и на организм человека.

Лиганды – это нейтральные молекулы, ионы или радикалы, связанные с центральным атомом комплексного соединения.

Мг % – внесистемная единица концентраций, определяемая как количество миллиграмм (мг) определяемого вещества, содержащееся в 100 мл исследуемого раствора или в 100 г исследуемого вещества.

Нейропатия – это поражение нервной системы невоспалительного характера.

Нефропатия – поражение клубочкового аппарата и паренхимы почек различной этиологии. В целом заболевание характеризуется нарушением работы почек.

ПДК (предельно допустимая концентрация) – утвержденный в законодательном порядке норматив, характеризующий максимальное количество вещества, которое может находиться в определенном объеме измерений и не причинять ущерба живым организмам (в том числе и человеку).

Педосфера – почвенная оболочка Земли, аналогична другим земным оболочкам: литосфере, гидросфере, атмосфере.

Пелагиаль – толща воды океанов, морей, озер (от поверхности до дна) как среда обитания **пелагических** организмов, населенная растительными и животными организмами.

Перкутанный – поступление веществ в организм путем проникновения через неповрежденную кожу.

Пероральный – путь поступления вещества с пищей, питьевой водой, загрязненной землей.

Реабсорбция – обратное всасывание воды и некоторых растворенных в ней веществ из первичной мочи в кровь, происходящее в почечных канальцах и собирательных трубочках.

Рециклинг – разновидность переработки отходов, связанная с повторным полезным использованием сырья по прямому назначению.

Синергический эффект – эффект взаимодействия двух или более факторов, характеризующийся тем, что совместное действие этих факторов существенно превосходит простую сумму действий каждого из указанных факторов в отдельности.

Субклинический – болезненный процесс, не проявляющийся определенными или значительными симптомами расстройства, но который, в некоторой части случаев, может быть выявлен специальными исследованиями.

Токсичность – способность вещества вызывать нарушения физиологических функций организма, в результате чего возникают симптомы интоксикаций (заболевания), а при тяжелых поражениях – его гибель.

Транслокационный показатель вредности – характеризует способность вещества переходить из пахотного слоя почвы через корневую систему растений и накапливаться в его зеленой массе и плодах в количестве, не превышающем ПДК для данного вещества в пищевых продуктах.

Тургор – давление внутриклеточной жидкости на оболочку, делающее ее упругой и эластичной. У растений, благодаря **тургору**, поддерживается форма, регулируется процесс транспирации.

Фотофобия – светобоязнь, болезненная чувствительность глаза к свету, при которой его попадание вызывает у человека неприятные ощущения в глазах (например, спазм век, боль в глазах и слезотечение) и заставляет сильно щурить глаза

Экотоксичность – это способность данного ксенобиотика вызывать неблагоприятные эффекты в соответствующем биоценозе.

Учебное издание

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ
И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА
(*СВИНЕЦ, РТУТЬ, КАДМИЙ*)

Подписано в печать 17.09.2020. Формат 60x84 1/16.
Бумага для множ. аппаратов. Печать на ризографе.
Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 6,6. Уч.-изд. л. 3,7.
Тираж 500. Заказ

Оригинал-макет отпечатан в издательском отделе
Уральского государственного педагогического университета.
620017 Екатеринбург, пр-т Космонавтов, 26.
E-mail: uspu@uspu.me