

ОБ ОПАСНОСТИ ОТРАВЛЕНИЙ РТУТЬЮ И ЕЕ СОЕДИНЕНИЯМИ

Луковникова Л.В., Рейнюк В.Л., Яцеленко Ю.В., Вариошкин П.Н.,
Носов А.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-клинический центр
токсикологии имени академика С.Н. Голикова
Федерального медико-биологического агентства»,
192019, Санкт-Петербург, Россия, Бехтерева ул. д.1.*

Резюме. Ртуть является одним из самых токсичных элементов, который может накапливаться во внешней среде и организме человека. В окружающую среду ртуть поступает из различных источников, таких как: промышленные выбросы сточных вод предприятий цветной и химической промышленности, в результате извержения вулканов. Вследствие естественного и техногенного загрязнения окружающей среды ртутью, рассматривается проблема распространения, трансформации и биоаккумуляции ртути в воде и водной биоте, атмосфере, почве, продуктах питания, что может представлять реальную опасность для здоровья населения. Известны различные способы, поступления ртути и её соединений в организм человека. Серьезную опасность здоровью населения представляет загрязнение водных объектов ртутью и её соединениями в связи с их накоплением в рыбе и морепродуктах. Для повышения качество профилактики и диагностики патологии, обусловленной действием ртути и её соединениями, наряду с клиническим обследованием необходимо определение ртути в наиболее информативных биологических субстратах человека (моча, кровь, кровь пуповины, волосы). Основой стратегии по защите населения от вредного действия ртути являются ограничение техногенного поступления ртути в объекты окружающей среды, контроль за её содержанием в среде обитания и биосредах человека.

Ключевые слова: ртуть; миграция; трансформация; биоаккумуляция; отравление органическими и неорганическими соединениями ртути

ABOUT THE HAZARD OF POISONING WITH MERCURY AND ITS COMPOUNDS

Lukovnikova L.V., Reinyuk V.L., Yatselenko Yu.V., Varioshkin P.N.,
Nosov A.V.

*Federal State Budgetary Institution «Scientific and Clinical Center of Toxicology named after
Academician S.N. Golikov
Federal Medical and Biological Agency»,
192019, St. Petersburg, Russia, Bekhtereva str., 1.*

Resume. Mercury is one of the most toxic elements that can accumulate in the external environment and the human body. Mercury enters the environment from various sources, such as: industrial wastewater emissions from non-ferrous and chemical industries, as a result of volcanic eruptions. Due to natural and man-made pollution of the environment with mercury, the problem of the spread, transformation and bioaccumulation of mercury in water and aquatic biota, atmosphere, soil, food, which can pose a real danger to public health, is being considered. Various methods are known for the intake of mercury and its compounds into the human body. Pollution of water bodies with mercury and its compounds due to their accumulation in fish and seafood poses a serious danger to public health. To improve the quality of prevention and diagnosis of pathology caused by the action of mercury and its compounds, along with clinical examination, it is necessary to determine mercury in the most informative biological substrates of a person (urine, blood, umbilical cord blood, hair). The basis of the strategy to protect the population from the hazard effects of mercury is to limit the man-made intake of mercury into environmental objects, control over its content in human habitat and biological media.

Keywords: mercury; migration; transformation; bioaccumulation; poisoning by organic and inorganic mercury compounds

Введение

Ртуть – это природный элемент, который постоянно присутствует в воздухе, воде и почве. Токсичность и опасность ртути и ее соединений для здоровья человека диктует необходимость разработки современных методов постоянного контроля за содержанием этого элемента не только в различных объектах окружающей среды, но и в биосредах организма человека. В результате хозяйственной деятельности человека в окружающую среду ежегодно поступает до 10 000 тонн ртути. Основными техногенными источниками эмиссии ртути являются предприятия цветной металлургии, химической и электрохимической промышленности, сжигание жидкого и твердого топлива, экстрагирование и концентрирование золота. В среднем, в результате жизнедеятельности города с населением до 1 млн. человек в окружающую среду ежегодно выбрасывается от 200 до 400 килограммов ртути [1]. Существуют и природные источники эмиссии ртути, прежде всего - это ее месторождения и извержение вулканов. По данным экспертов Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) при естественном выделении из земной коры в атмосферу Земли поступает от 25 000 до 125 000 тонн в год [2,3]. До середины двадцатого века даже среди научного сообщества не было понимания важности и серьезности проблемы техногенного загрязнения окружающей среды химическими веществами. Существовало мнение, что природа может эффективно бороться с опасными отходами благодаря процессам

самоочищения [4]. В странах Северной Америки до начала семидесятых годов, промышленные отходы и стоки бесконтрольно сбрасывались в водные системы или в почву. Появление сведений о трагедии в местечке Минамата (Япония), загрязнение ртутью воды и рыбы Великих озер (США), повышение содержания ртути в Средиземноморском регионе и в Балтийском море стало неожиданностью для многих исследователей [4]. Значительные регионы Азии, Африки и Южной Америки до сих пор подвержены высокой опасности ртутного загрязнения из-за «кустарной» добычи золота и не контролируемого использования ртути и её соединений. В результате анализа экологической ситуации о содержании опасных химических веществ в объектах окружающей среды с начала семидесятых годов двадцатого века практически все промышленно развитые страны разработали национальные правила, регулирующие использование, хранение и размещение химических отходов. Со временем, необходимость исследования вредного действия токсикантов на окружающую среду и здоровье населения, находит отражение в документах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, WHO), конференций ООН по окружающей среде и развитию, в программе организации объединенных наций по окружающей среде (UNEP), в международной программе по химической безопасности (IPCS), в материалах международного агентства по изучению рака (МАИР) и других [5,6]. В индустриально развитых странах были подготовлены проекты по изучению распределения ртути в различных объектах окружающей среды. В настоящее время специалисты по охране окружающей среды, оценивая глобальное распространение ртути, обращают внимание на тенденцию повышения содержания ртути в атмосфере, в воде и почве [4, 5,6].

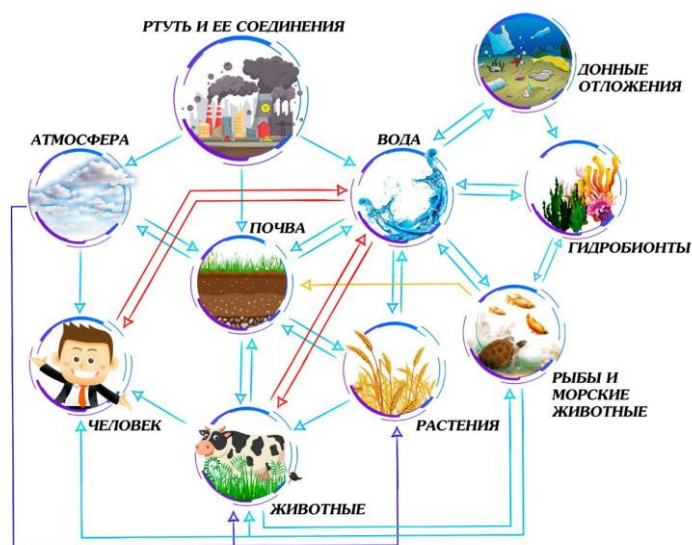


Рисунок. Поступление ртути в окружающую среду и организм человека

На рисунке представлена циркуляция ртути в объектах окружающей среды и возможные пути ее поступления в организм человека.

Цель исследования состояла в обобщении известных данных о миграции, биотрансформации, аккумуляции ртути в объектах окружающей среды, различных видах водной биоты и опасности поступления ртути и её соединений в организм человека.

Ртуть относится к наиболее опасным экотоксикантам, который постоянно обнаруживается в воздухе, воде, почве, продуктах питания, перемещается из одного природного резервуара в другой, контактирует с различными видами живых организмов и повсюду оставляет нежелательные последствия этого взаимодействия [4,7]. Ртуть была известна человеку с глубокой древности. Греческий врач Диоскорид (I век н.э) дал ей название hydrargyros (от «hydra»- вода, «argyros» - серебро). Сходным было английское название ртути quicksilver («быстрое серебро»). Распространенное современное название ртути «mercury» произошло от имени латинского бога торговли Меркурия. По мнению римлян, Меркурий передвигался так же быстро, как переливается ртуть. Не случайно, самую быстро передвигающуюся планету астрономы называли Меркурий.

Египтяне, индийцы, китайцы, использовали ртуть и её соединения в медицине. Одним из первых письменные свидетельства, где упоминались лекарственные свойства ртути, оставил итальянский купец и путешественник Марко Поло, посетивший Индию в XIII веке. Он отмечал, что древнеиндийская медицина, испытывающая на себе большое влияние алхимии, широко использовала ртутную мазь. Индийцы брали себе за правило ежедневно употреблять небольшое количество ртути и серы в качестве профилактики для омоложения всего организма. О лечебных свойствах ртути упоминали Парацельс, Аристотель, Плиний старший. Медики прошлого считали, что жидкая ртуть помогает при желудочных заболеваниях, в том числе при завороте кишок [8]. Наиболее часто для лечебных целей применялся дихлорид ртути (HgCl_2 - сулема), одно из наиболее токсичных неорганических соединений ртути. Её использовали для лечения заболеваний кожи, желудочно-кишечного тракта, инфекционных и онкологических заболеваний, для дезинфекции белья и помещений, одежды, предметов ухода за больными, в парфюмерии. При пероральном поступлении дихлорида ртути (сулемы) наблюдается язвенно-некротический гастроэнтерит, затем развивается некротический нефроз, характеризующийся гибелью эпителия проксимальных отделов почечных канальцев. Достаточно долгое время сверхмалые разведения дихлорида ртути использовали в гомеопатии. Длительное применение лекарственных препаратов на основе ртути (ртутная серая мазь содержала до 30% неорганической ртути) может сопровождаться местным раздражающим действием и общим резорбтивным в виде микромеркуализма, который характеризуется выраженными изменениями вегетативной

нервной системы, нарушениями эмоциональной сферы, повышенной возбудимости. Одновременно возможно повышение концентрации ртути в моче от 0,05 до 0,25 мкмоль/л. Однако повышенные концентрации ртути в моче для диагноза микромеркуализм имеют значение только при наличии характерной клинической симптоматики. Во второй половине XX века применение препаратов на основе ртути резко уменьшилось. С 1999 года Минздрав Российской Федерации запретил использование ртути и её неорганических соединений в лечебной практике.

Необычное применение ртути связано с именем мавританского короля Абд ар - Рахмана III (Испания, X век), у которого во внутреннем дворе дворца был расположен фонтан с непрерывно льющейся струей ртути. Строительство подобного сооружения было возможно только в результате богатого месторождения ртути. До сих пор Испания занимает одно из ведущих мест в мире по её добыче. Греки и римляне еще за 300 лет до нашей эры знали о токсических свойствах металлической ртути. Со времен Римской империи известны случаи отравления рабов на ртутных месторождениях. Расстройства нервной системы у лиц, занятых обработкой фетра нитратом ртути, хорошо иллюстрируется известной английской поговоркой - «Безумен, как шляпник», которая характеризует основной симптомокомплекс ртутной интоксикации в виде поражения центральной нервной системы по типу токсической энцефалопатии [8,9]. Действие ртути на здоровье рабочих подробно представлено в классическом труде Б. Рамаццини «Рассуждение о болезнях ремесленников» [9]. Описывая труд шахтеров, мастеров, занятых изготовлением зеркал, он подчеркивал, что вследствие контакта со ртутью у работников развивались «...параличи, астма и другие страдания». В своем труде Б. Рамаццини отмечал, что наиболее неблагоприятным является ингаляционный путь поступления ртути в организм «...самой губительной вредностью для шахтеров являются пары, выделяющиеся из рудников, где добывается ртуть» [10,11]. Таким образом, уже в средние века было известно об опасности поступления неорганической ртути и ее соединений в организм человека ингаляционным путем. Подобные нарушения здоровья рабочих, занимавшихся изготовлением фетра, обработкой заячьих шкурок соединениями ртути, подробно описал отечественный врач-гигиенист Вячеслав Александрович Левицкий. Известные ученые, Исаак Ньютон, Майкл Фарадей, Пьер Паскаль, использующие ртуть в своих экспериментах подвергались тяжелой интоксикации, в результате чего у них наблюдались расстройства психики, резкая астения, потеря памяти. Например, увлеченный экспериментальными исследованиями, Исаак Ньютон часто не покидал своей лаборатории в течение многих недель, что явилось причиной известных расстройств нервной системы (приступов безумия) великого ученого [8]. В современных условиях, ртуть и её соединения, по прежнему, рассматриваются как токсичные и опасные вещества 1-2 класса опасности и

возможные причины развития профессиональных заболеваний в результате острого или хронического отравления (Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 27 апреля 2012 г. № 417н «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний»), не смотря на то, что острые отравления парами ртути встречаются достаточно редко. Хронические ингаляционные отравления парами неорганической ртути развиваются постепенно и проявляются в виде признаков микромеркуриализма и меркуриализма, подробно представленные в работах отечественных и зарубежных авторов [9,12,13,14,15,16].

Несмотря на давнюю историю изучения токсичности ртути и ее соединений не все исследователи применяют термин меркуриализм и микромеркуриализм обоснованно. Известны работы, в которых диагноз ртутной интоксикации ставится без оценки уровня внешнего воздействия, который мог быть причиной развития отравления, без должного внимания клиническому обследованию пострадавших, без критического анализа уровня содержания ртути в биосредах, не отмечая различий в характере токсического действия неорганических и органических соединений ртути [17,18,19]. Авторы могут подробно анализировать причины развития ртутной интоксикации, перечислять клинические симптомы отравления и поражаемые органы и системы, рассматривать механизм токсического действия, акцентировать внимание на специфике острой и хронической интоксикации ртутью, называть ртуть и ее соединения тиоловыми ядами, и, практически, не уделять внимания определению тиоловых ферментов и/или уровню низкомолекулярных тиолов при диагностике ртутной интоксикации [14,17]. Известно, что истощение количества восстановленных низкомолекулярных тиолов и повышение содержания их окисленных форм, нарушение тиолдисульфидного равновесия или тиолдисульфидного статуса (SH/SS, GH/GSS) является, одним из основных показателей развития интоксикации. Именно с этим механизмом связана терапевтическая эффективность тиолсодержащих препаратов: унитиола, сукцимера, восстановленного глутатиона и его предшественника цистеина и других [1,14,17].

К органическим соединениям ртути (ОСР) относятся соединения, в молекуле которых атом ртути непосредственно связан с одним или двумя атомами углерода. Среди ОСР встречаются высоко- и низкокипящие жидкости, твердые вещества с различной растворимостью в воде. В глобальных миграционных процессах летучесть ртути и ОСР играет важное значение. Наибольшей летучестью характеризуются симметричные короткоцепочные алкилртутные соединения, например, диметилртуть.

В окружающую среду ОСР поступают в результате деятельности предприятий химической промышленности, которые широко используют ОСР в качестве катализаторов

химических реакций, для консервирования древесины, пластических материалов, бумажной массы и текстиля, защиты подводных частей гидротехнических сооружений и судов от обрастания, в составе бактерицидных эмалей для покрытия медицинского оборудования и мебели. Органические соединения ртути являются действующим началом многих пестицидов: этилмеркурхлорида, метоксиэтилмеркурацетата, фенилмеркурацетата, фенилмеркурамида, фализана, лейтозана, руберона, риогена, и других. В результате широкого производства и применения ОСР могут поступать в воздух рабочей зоны, атмосферный воздух, водоемы, почву и представлять реальную угрозу для здоровья человека и окружающей среды [20,21,22,23].

В объектах окружающей среды ОСР образуются в результате метилирования неорганических соединений ртути в почве, донных отложениях морей, озер, рек и других водоемов, где соединения ртути могут включаться в трофические цепи с концентрированием по мере продвижения от низших к высшим трофическим уровням [22,23].

Изучение циркуляции неорганической ртути и её трансформации в органические соединения в системе окружающая среда → биологический объект показало, что в водной растительности ОСР накапливаются в незначительных количествах, поэтому содержание в рыбе, использующей её для питания, невелико. Напротив, в теле рыб, питающихся донными беспозвоночными, определяются более высокие концентрации ОСР. Цепь миграции и накопления ОСР в водной среде может быть представлена следующим образом: вода и иловые отложения → водная растительность → водные беспозвоночные → растительоядные, бентосоядные рыбы → хищные рыбы → рыбаоядные птицы [23,24,25,26].

Исследования процессов миграции соединений ртути в качестве пестицидов в семена злаковых и бобовых из песчаных и черноземных почв показали, что тип почвы практически не влияет на коэффициент миграции ОСР из почвы в злаковые и бобовые растения. При этом, поступающие из почвы в растения, такие соединения как гранозан (этилмеркурхлорид), мигрируя по пищевой цепочке, накапливаются в кормах, растительных продуктах, создавая потенциальную опасность для животных и человека [23,27,28]. Зарегистрированы случаи отравления ОСР в Ираке, Гане и других странах, вследствие употребления в пищу зерна, обработанного ртутьорганическими пестицидами [23].

Повышенное содержание ртути в объектах окружающей среды приводит к загрязнению ими продуктов животноводства. Именно ртутьорганические пестициды являются источником высокого содержания ртути в органах и тканях крупного рогатого скота, поскольку ОСР медленно выводятся из организма и обнаруживаются в органах и тканях в относительно высоких концентрациях. Установлена прямая зависимость между

содержанием ОСР в тканях крупного рогатого скота и возрастом животных, особенно в пастбищный период [23,28].

Рыба и морепродукты представляют наибольшую опасность как источник поступления в организм человека органических соединений ртути (ОСР). Одно из самых массовых отравлений ОСР получило название болезни Минамата. Причиной болезни явилось концентрирование метилртути в рыбе и морепродуктах, которые были повседневной пищей жителей поселка, расположенного на берегу залива Минамата (Япония). Как стало известно позднее, к катастрофе привели многолетние сбросы в залив ртутьсодержащих стоков. С 1932 года по 1968 год в залив поступило около 200 тонн неорганических соединений ртути [4,5,23,29]. Превращение неорганической ртути в метилированные соединения является ключевым моментом в процессе их биоаккумуляции в воде водоемов, рыбе и морепродуктах. Метилртуть, накапливаясь водной биотой, достигая наивысшей концентрации в тканях рыб, креветок и других морских животных, которые использовались в качестве продуктов питания населением поселка Минамата, стала причиной известной трагедии. Средний уровень метилртути в рыбе, выловленной в заливе Минамата составлял 11-36 мг/кг, в то время, как в рыбе, пойманной в незагрязненных местах Японии определялся на уровне менее 1 мг/кг [29].

В отличие от неорганических форм ртути токсичность органических соединений ртути не зависит от пути поступления в организм. При хроническом отравлении ОСР развиваются токсическая энцефалопатия, мозжечковая атаксия, нарушения зрения, слуха, парестезии. Взаимодействие ртути с SH-группами тканевых белков, нарушает активность многих ферментных систем. Наличие в структуре ОСР углеводородного радикала определяет способность проникания в богатые липоидами ткани, в том числе и в мозг. Известно, что сходство клинических симптомов острого отравления ОСР, с симптоматикой церебрального паралича, представляет сложность диагностики данной патологии. Наряду с поражением нервной системы, интоксикация ОСР характеризуется выраженным кардиотоксическим действием в виде кардиомиодистрофии и гипотонии. Особенностью интоксикации ОСР, в отличие от клиники отравлений неорганическими соединениями ртути является стойкость неврологической симптоматики, преобладание жалоб, указывающих на патологию гипоталамических структур мозга и уменьшение симптомов, свидетельствующих о патологии периферической нервной системы. Экспериментальные исследования доказали возможность проникания ОСР через плаценту и способность оказывать эмбрио- и гонадотоксическое действие, а также влияние на развитие потомства. Поступление ОСР в организм беременных крыс может приводить к нарушению плодовитости, значительным нарушениям развития плода и его резорбции. Потомство от самок, подвергнутых действию

ОСР, характеризовалось отставанием в физическом развитии, изменениями периферической крови, снижению содержания SH- групп белков, дистрофическими процессами внутренних органов [13,20,23].

Особого внимания заслуживают липофильные свойства ОСР, которые проникают через плаценту быстрее, чем гидрофильные. Проницаемость через плаценту в основном, определяется следующими факторами: молекулярная масса (менее 600), степень растворимости в жирах, возраст плаценты (по мере увеличения срока беременности плацента истончается и увеличивается размер и площадь её поверхности). У женщин, работающих с ОСР регистрировали нарушения менструального цикла, функционально-морфологическую недостаточность формирующейся плаценты, осложнения беременности, самопроизвольные аборт, преждевременные роды, патологическое течение родов, женское бесплодие, ранний климакс, нарушения развития плода (сниженная масса, рост, врожденные пороки развития, церебральный паралич новорожденных), патология ЦНС у детей в виде микроцефалии, поражения нейронов головного мозга. Дети, которые на стадии внутриутробного развития подвергались воздействию метилртути, имели нарушения когнитивного мышления, памяти, внимания, отставание в развитии речи, нарушения мелкой моторики и визуально-двигательной координации. У новорожденных диагностировали спастический паралич, слепоту, нарушения памяти и снижение способности к обучению. Известно, о нарушениях сперматогенеза у мужчин [20,23].

Биотрансформация ОСР в организме теплокровных животных и человека во многом определяется органическим радикалом молекулы. Алкилртутные соединения более стабильны, проникают через гематоэнцефалический и плацентарный барьеры. Фенилртутные соединения подобно неорганическим соединениям ртути быстро распадаются, высвобождая ртуть, которая выводится почками и кишечником, в зависимости от дозы, провоцируя нефрозо-нефрит или колит. Превращение метилртути в неорганическую ртуть считается ключевой стадией в процессе детоксикации метилртути и последующей экскреции в виде неорганической ртути. Характер распределения ОСР в организме зависит от пути поступления. Метилртуть практически вся всасывается в желудочно-кишечном тракте. В результате трансплацентарного переноса её содержание в эритроцитах плода на 30% выше, чем у матери. При введении этилмеркурфосфата и этилмеркурхлорида в организм через дыхательные пути, самые высокие количества ртути обнаруживались в легких, головном и спинном мозге, почках. При поступлении этих же веществ в желудок, наибольшие концентрации ртути определялись в почках, в головном и спинном мозге и, значительно меньше, в легких. Период полувыведения ртути из крови составляет около 70 дней. По мнению И.М. Трахтенберга при ингаляционном поступлении в организм ртути в

любой химической форме (органического или неорганического соединения) выведение осуществляется преимущественно почками (50-60%), около 30% выводится через желудочно-кишечный тракт, в меньшей степени вместе с потом, слюной, у кормящих женщин, обнаруживается в грудном молоке. Известны рекомендации об определении ртути в волосах и ногтях [12,13].

Несмотря на высокую токсичность, продолжается широкое техногенное использование ртути и её соединений в промышленности и сельском хозяйстве, что приводит к загрязнению вод мирового океана, которое, по-прежнему, остается высоким. Только в 2008 году по данным Агентства по окружающей среде США (EPA) количество ртути в мировом океане составило около 3700 тонн, из которого ежегодно образуется около 300 тонн метилртути, сохраняющееся в водной среде океана до 11 лет, что может представлять реальную опасность для здоровья человека и водной биоты [30,31].

Таким образом, наряду с предупреждением и ограничением техногенного загрязнения воды открытых и подземных источников ртутью, требуется постоянный контроль содержания ртути в продуктах питания и, особенно, в рыбе и морепродуктах. Показано, что в 84% исследуемых проб рыбы концентрация ртути превышала предельно допустимую, соответствующую безопасному потреблению [32]. По данным международного комитета FAO/WHO Всемирной организации здравоохранения, ответственного за безопасность пищевых добавок, контаминантов, загрязняющих веществ, природных токсикантов и остатков ветеринарных препаратов в продуктах питания, в 2004 год предельно допустимое поступление метилртути в организм человека составляло 1,6 мкг на 1 кг массы тела в неделю, для неорганических соединений ртути - 4 мкг на 1 кг массы тела в неделю. В связи с увеличением содержания соединений ртути в объектах окружающей среды, допустимые количества ртути в продуктах питания и рекомендации по потреблению рыбы и морепродуктов, могут пересматриваться. По данным 2012 года комитета FAO/WHO, предельно допустимый уровень поступления метилртути был рекомендован на уровне 1,3 мкг/кг веса тела в неделю. Агентство по окружающей среде США для метилртути определило предельно допустимый уровень поступления в организм человека равный 0,7 мкг/кг веса тела в неделю. Таким образом, если следовать рекомендациям США и принять за основу безопасный уровень поступления ртути в организм человека, равный 0,1 мкг/кг массы тела в день, при расчете на среднюю массу тела человека в 60 кг и среднюю порцию рыбы на один прием в 170 г, то рекомендуемая частота потребления рыбы будет соответствовать определенной концентрации ртути в рыбе. Так, например, при концентрациях метилртути в рыбе, менее 0,05 мкг/г сырой массы употреблять рыбу можно без ограничений, а при концентрациях более 0,95 мкг/г – употреблять рыбу вообще не

рекомендуется [31]. Одновременно с контролем содержания соединений ртути в рыбе и морепродуктах необходимо контролировать накопление ртути в организме человека, особенно у беременных, кормящих женщин и детей, для которых действие ртути представляет наибольшую опасность. При обследовании 149 женщин ртуть была обнаружена в грудном молоке в количестве 0,0015 - 0,0026 мг/кг, что позволяет рассматривать грудное молоко в качестве биологической среды, отражающей экспозицию ртути населения [23]. Существуют официально принятые международными и национальными организациями нормативы содержания ртути в различных биосредах организма, не вызывающие неблагоприятных изменений здоровья человека (таблица). Превышение, представленных в таблице величин может привести к нежелательным последствиям для здоровья человека [33,34].

Таблица

Содержание ртути в различных биосредах человека по данным международных и национальных организаций [31]

Биосубстрат	Группа населения	Критерий и единица измерения	Организация
волосы	беременные женщины, дети и взрослые	1мкг/г 1,9 мкг/г	Агентство по окружающей среде США (EPA) ФАО/ВОЗ (FAO/WHO)
кровь, кровь пуповины	беременные женщины, дети и взрослые	БМЧ-1 – 5 мкг/л БМЧ-2 – 15мкг/л	Комиссия по БМЧ Федерального агентства по окружающей среде Германии
моча	дети и взрослые	БМЧ-1 - 7 мкг/л (или 5 мкг/г креатинина); БМЧ-2 - 25 мкг/л (или 20 мкг/г креатинина)	Комиссия по БМЧ Федерального агентства по окружающей среде Германии

Комиссия по биомониторингу человека (БМЧ) Федерального агентства по окружающей среде Германии разработала показатели, которые соответствуют двум критериям: БМЧ - 1 и БМЧ - 2. Значение БМЧ - 1 представляет собой концентрацию ртути в биологическом материале человека, ниже которого, согласно настоящему уровню знаний, не наблюдается неблагоприятных последствий для здоровья. Значение БМЧ - 2 отражает концентрацию химического вещества (в данном случае, ртути) в биоматериале человека, при превышении которого существует повышенный риск вредного действия для здоровья человека и, следовательно, необходимы мероприятия по снижению или устранению действия химического вещества [34]. По данным Агентства по окружающей среде США, выявлены определенные корреляционные зависимости между поступлением ртути в

организм человека и её содержанием в таких биосубстратах как волосы и кровь. Например, количество ртути равное 0,1 мкг/кг массы тела в день соответствует концентрации 1 мкг/г в волосах и 5-6 мкг/л в крови [33].

Подписание 7 июля 2014 года № 1242-р Правительством Российской Федерации Конвенции Минамата предполагает участие России в выполнении программ по ограничению вредного действия ртути и ее соединений для здоровья человека и состояния окружающей среды. В числе мероприятий по снижению действия ртути на здоровье человека в программе Конвенции предлагается проведение исследований на основе биомониторинга [35]. Исследования отечественных ученых о действии химических веществ на основе биомониторинга известны с семидесятых годов двадцатого века. Монографии И.Д. Гадаскиной, В.А. Филова «Превращения и определение промышленных органических ядов в организме» (1971), «Определение промышленных неорганических ядов в организме» (1975) фактически являются первыми фундаментальными изданиями по биомониторингу в нашей стране. Позднее были выполнены исследования, посвященные оценке действия ртути на население с использованием данных биомониторинга [31,32,35]. Оценивая токсикокинетические характеристики ртути и ее соединений, особенности токсического действия, способность неорганических и органических соединений ртути проникать через плаценту, были выделены наиболее чувствительные группы риска: женщины репродуктивного возраста, беременные и кормящие женщины, младенцы на грудном вскармливании, дети дошкольного возраста и рекомендованы биомаркеры экспозиции [35]. Для оценки экспозиции к неорганическим соединениям ртути наиболее информативной биосредой является моча. Волосы, кровь и кровь пуповины - считаются предпочтительными биосредами экспозиции характеризующими поступление в организм органических соединений ртути, например, метилртути [33,34,35,36,37]. Результаты выполненных исследований по определению содержания ртути в крови и крови пуповины, моче, волосах обследуемых, продуктах питания (прежде всего в рыбе, как источнике метилртути), позволяют составить представление об уровне ртутной экспозиции для населения и выделить группы риска наиболее подверженных действию ртути [35,36,37].

В настоящее время многие страны внедряют программы по утилизации ртути, что позволяет снизить ее концентрацию в окружающей среде и уменьшить риск для здоровья человека. Кроме того, проводятся исследования, направленные на разработку новых методов очистки воды и почвы от ртути, а также на создание безопасных альтернативных материалов и технологий производства без применения ртути. Однако проблема распространения ртути остается актуальной и требует дальнейших исследований и разработок. Необходимо совершенствовать методы анализа и контроля за содержанием ртути в окружающей среде, а

также проводить обучение и информационную работу с населением, чтобы повысить осведомленность о рисках, связанных с использованием ртути и ее соединений.

Заключение

Загрязнение окружающей среды ртутью, по-прежнему, является актуальной медико-социальной проблемой, решение которой требует привлечения специалистов в области токсикологии, гигиены и экологии. Ртуть длительное время сохраняется и накапливается в окружающей среде, оказывая вредное действие на всё живое, в том числе, и на человека. Наибольшую опасность представляют пары и аэрозоли неорганической ртути и её соединений при ингаляционном поступлении. Острые и хронические отравления органическими соединениями ртути могут развиваться в процессе производства и при употреблении продуктов, загрязненных ОСР (рыба и морепродукты, мука, продукты животноводства).

Предупреждение развития острых и хронических отравлений ртутью и её соединениями требует объединенных усилий государственных, общественных и научных организаций, что позволит обеспечить безопасность и здоровье населения, сохранить экологическую устойчивость природы. Определение в биосредах человека ртути и её соединений, наряду с клиническим обследованием, дает возможность повысить качество профилактики и диагностики патологии, обусловленной действием ртути и ее соединений.

Одними из основных направлений по обеспечению безопасности населения являются сокращение эмиссии ртути из антропогенных источников загрязнения и контроль за содержанием ртути в объектах окружающей среды (воде, воздухе, почве), в продуктах питания (особенно в рыбе и морепродуктах). Для повышения качества диагностики интоксикации ртутью в алгоритм обследования лиц, подверженных действию ртути и её соединений, необходимо включать исследования наиболее информативных биосред на содержание ртути и определение одного из наиболее важных биохимических показателей - тиолдисульфидного статуса организма (определение восстановленных и окисленных форм низкомолекулярных тиолов и их соотношение SH/SS).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснопеева И.Ю. Распространение ртути и ее соединений в окружающей среде и влияние на организм человека// *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2005; Т.54, 5: 7-12.
2. *Mercury: Environmental aspects of application. Hygienic criteria for the state of the environment* 86. Genewa: WHO; 1992.
3. [Wilson](#) S.J., [Munthe](#) J. at al. Updating Historical Global Inventories of Anthropogenic Mercury Emissions to Air. *AMAP Technical Report*. 2010; 3 www.amap.no.
4. Мур Д.В., Рамамурти С. *Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния*. М: Мир; 1987.
5. Хамидулина Х.Х. Задачи профилактической токсикологии в обеспечении безопасного регулирования химических веществ. *Медицина труда и экология человека*. 2015; 3: 280-287.
6. Курляндский Б.А., Хамидулина Х.Х., Кудинова О.Н. Современные тенденции промышленного развития России и токсикологические проблемы химической безопасности. *Токсикологический вестник*. 2005; 1: 2-14
7. Трахтенберг И.М., Колесников В.С., Луковенко В.П. *Тяжелые металлы во внешней среде: современные гигиенические и токсикологические аспекты*. Минск: Навука і Тэхніка; 1994. 285 с.
8. Гадаскина И.Д. Толоконцев Н.А. *Яды-вчера и сегодня: Очерки по истории ядов*. Л.: Наука; 1988.
9. Трахтенберг И.М. *Книга о ядах и отравлениях. Очерки токсикологии*. Киев: Наукова думка; 2000.
10. *Органические соединения ртути. МРПТХВ научные обзоры советской литературы по токсичности и опасности химических веществ. Программа ООН по окружающей среде. № 117*. М: Центр международных проектов ГКНТ; 1989.
11. Ракитский В.Н., Синицкая Т.А., Скупниевский С.В. Современные проблемы загрязнения ртутью окружающей среды (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2020; 99 (5): 460-476.
12. Трахтенберг И.М., Коршун М.И., Козлов К.П. Ртуть как глобальный химический загрязнитель. *Токсикологический вестник*. 2006; 3: 2-7.
13. Сидорин Г.И. Ртуть как ксенобиотик. *Вестник Санкт-Петербургской медицинской академии им. И.И.Мечникова*. 2001; 1: 78-86.
14. Краснопеева И.Ю. Ртутная интоксикация. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2005; Т.57, 7: 104-107.
15. Элленхорн Метью Дж. *Медицинская токсикология: Диагностика и лечение отравлений у человека: в 2 томах*. Т.2: пер с англ. М.: Медицина, 2003.
16. Измеров Н.Ф. ред. *Российская энциклопедия по медицине труда*. М.: Медицина; 2005.
17. Шилов В.В. Экологическая токсикология ртути. Эколого-эпидемиологическая экспертиза здоровья населения – основа рациональной профилактики болезней. *Материалы XXXV научной конференции СПбМАПО «Хлопинские чтения»* под ред. А.П. Щербо и С.С. Першина. СПб.: СПбМАПО; 2002.
18. Малов А.М., Сибириков В.К., Муковский Л.А., Семенов Е.В. Ртуть как фактор риска для здоровья человека. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2014; Т.16, 5(2): 907-910.
19. Семенов А.С., Скальный А.В. *Иммунопатологические и патобиохимические аспекты патогенеза перинатального поражения мозга*. Санкт-Петербург: Наука; 2009.
20. *Ртуть. МРПТХВ Научные обзоры советской литературы по токсичности и опасности химических веществ. Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), №11*. Москва: Центр международных проектов ГКНТ; 1982.

21. Малов А.М., Луковникова Л.В., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш. Результаты биомониторинга ртутного загрязнения территории мегаполиса. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1189-1194. doi.org/10.18821/0016- 9900-2018-97-12-1189-1194
22. Моисеенко, Т.И. *Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты*. Москва: Наука, 2009.
23. *Метилртуть. Гигиенические критерии состояния окружающей среды 101*. Женева: ВОЗ; 1993.
24. Немова Н.Н., Лысенко Л.А., Мещерякова О.В., Комов В.Т. Ртуть в рыбах: биохимическая индикация. *Междисциплинарный научный и прикладной журнал. Биосфера*. 2014; Т.6, 2:176-185.
25. Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Ермолаев Б.В. Распределение ртути в природных и урбанизированных средах Карелии. *Экология человека*. 2019; Т.26, 4: 10-17. doi.org/10.33396/1728-0869-2019-4-10-17
26. Терентьев П.М., Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Королева И.М. Накопление ртути в тканях рыб водоемов Мурманской области и приграничных районов Норвегии и Финляндии. *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2018;15: 509-512.
27. Васильковская Л.Ф. *Циркуляция и трансформация хлор-, фосфор-ртутьпроизводных препаратов в системе окружающая среда- биологический объект*. Киев: Наукова думка; 1985.
28. Епифанова И.Э., Епимахов В.Г. Поступление ртути, свинца и мышьяка с кормами и их накопление в организме крупного рогатого скота и овец. *Бюллетень науки и практики*. 2019; Т.5, 3:173-186.
29. The Minamata Convention on Mercury. Available from: <https://www.mercuryconvention.org/> (accessed 12 May 2014).
30. U.S. Environmental protection Agency (EPA). Water quality criterion for the protection of human health methylmercury EPA-823 – R- 01-001; 2001. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-01/documents/methylmercury-criterion-2001.pdf>
31. Ильченко И.Н. Обзор исследований по оценке воздействия ртути на население в постсоветских странах с использованием данных биомониторинга человека. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2015; 59 (1): 48-53.
32. Егоров А.И., Ильченко И.Н., Ляпунов С.М., Марочкина Е.Б. и др. Применение стандартизированной методологии биомониторинга человека для оценки пренатальной экспозиции к ртути. *Гигиена и санитария*. 2014; (5): 10-18.
33. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Scientific opinion on the risk of for public health related to the presence of mercury in food. EFSA J. 2012; 10: 2985-3136. doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985
34. Schulz C, Wilhelm M, Heudorf U, Kolossa-Gehring. Reprint of « Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission»//*Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2012; 215:150-158.
35. Indicators of exposure to chemicals based on biomonitoring. Report of the meeting in Catania, Italy, April 19-20, 2012 WHO; 2012.
36. FAO, WHO (2011). *Report of the FAO/WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption*. Rome: FAO (<http://www.fao.org/3/ba0136e/ba0136e00.pdf>, accessed 1 July 2021).
37. *Human biomonitoring: facts and figures*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2015.

References

1. Krasnopeeva I.Yu. Spreading of mercury and its compounds in the environment and their influence on human organism. *Sibirskij medicinskij zhurnal (Irkutsk)*. 2005; T.54, 5: 7-12 (in Russian).
2. *Mercury: Environmental aspects of application. Hygienic criteria for the state of the environment* 86. Genewa: WHO; 1992.
3. [Wilson](#) S.J., [Munthe](#) J. at al. Updating Historical Global Inventories of Anthropogenic Mercury Emissions to Air. *AMAP Technical Report*. 2010; 3 www.amap.no.
4. Mur D.V., Ramamurti S. *Heavy metals in natural waters: control and impact assessment*. M: Mir; 1987 (in Russian).
5. Hamidulina H.H. The tasks of preventive toxicology in ensuring the safe regulation of chemicals. *Medicina truda i ekologiya cheloveka*. 2015; 3: 280-287 (in Russian).
6. Kurlyandskij B.A., Hamidulina H.H., Kudinova O.N. Modern trends of industrial development in Russia and toxicological problems of chemical safety. *Toksikologicheskij vestnik*. 2005; 1: 2-14 (in Russian).
7. Trahtenberg I.M., Kolesnikov V.S., Lukovenko V.P. *Heavy metals in the external environment*. Minsk: Navuka i Tekhnika; 1994 (in Russian).
8. Gadaskina I.D., Tolokoncev N.A. *Poisons-yesterday and today: Essays on the history of poisons*. L.: Nauka; 1988 (in Russian).
9. Trahtenberg I.M. *A book about poisons and poisoning. Essays on toxicology*. Kiev: Naukova dumka; 2000 (in Russian).
10. *Organic mercury compounds. MRPTKHV scientific reviews of Soviet literature on the toxicity and danger of chemicals. United Nations Environment Programme. № 117*. M: Centr mezhdunarodnyh proektov GKNT; 1989 (in Russian).
11. Rakitskij V.N., Sinickaya T.A., Skupnievskij S.V. Modern problems of mercury pollution of the environment (literature review). *Gigiena i sanitariya*. 2020; 99 (5): 460-476 (in Russian).
12. Trahtenberg I.M., Korshun M.I., Kozlov K.P. Mercury as a global chemical pollutant. *Toksikologicheskij vestnik*. 2006; 3: 2-7 (in Russian).
13. Sidorin G.I. Mercury as a xenobiotic. *Vestnik Sankt-Peterburgskoj medicinskoj akademii im. I.I.Mechnikova*. 2001; 1: 78-86 (in Russian).
14. Krasnopeeva I.Yu. Mercury intoxication. *Sibirskij medicinskij zhurnal (Irkutsk)*. 2005; T.57, 7: 104-107 (in Russian).
15. Ellenhorn, Matthew J. *Medical toxicology: Diagnosis and treatment of poisoning in humans: in 2 volumes*. M.: Medicina, 2003 (in Russian).
16. Izmerov N.F. ed. *Rossiyskaya enciklopediya po medicine truda*. M.: Medicina; 2005 (in Russian).
17. Shilov V.V. Environmental toxicology of mercury. Ecological and epidemiological examination of public health is the basis of rational disease prevention. *Materials of the XXXV scientific conference of SPbMAPO "Khlopin readings"*. SPb.: SPbMAPO; 2002 (in Russian).
18. Malov A.M., Sibiryakov V.K., Mukovskij L.A., Semenov E.V. Mercury as a risk factor for human health. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2014; T.16, 5(2): 907-910 (in Russian).
19. Semenov A.S., Skal'nyj A.V. *Immunopathological and pathobiochemical aspects of the pathogenesis of perinatal brain damage*. Sankt-Peterburg: Nauka; 2009 (in Russian).
20. *Mercury. MRPTKHV Scientific reviews of Soviet literature on the toxicity and danger of chemicals. United Nations Environment Programme (UNEP), No. 11*. M: Centr mezhdunarodnyh proektov GKNT; 1982 (in Russian).

21. Malov A.M., Lukovnikova L.V., Alikbayeva L.A., Iakubova I.S. The results of the monitoring of the mercury contamination within a megapolis. *Gigiena i sanitariya* 2018; 97(12): 1189-1194 doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1189-1194 (in Russian).
22. Moiseenko, T.I. *Aquatic ecotoxicology: theoretical and applied aspects*. Moskva: Nauka, 2009 (in Russian).
23. *Methylmercury. Hygienic criteria for the state of the environment 101*. Genewa: WHO; 1993.
24. Nemova N.N., Lysenko L.A., Meshcheryakova O.V., Komov V.T. Mercury in fish: a biochemical indication. *Mezhdisciplinarnyj nauchnyj i prikladnoj zhurnal. Biosfera*. 2014; T.6, 2:176-185 (in Russian).
25. Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Ermolaev B.V. Distribution of mercury in natural and urbanized environments of Karelia. *Ekologiya cheloveka*. 2019; T.26, 4: 10-17. doi.org/10.33396/1728-0869-2019-4-10-17 (in Russian).
26. Terent'ev P.M., Kashulin N.A., Dauval'ter V.A., Koroleva I.M. Accumulation of mercury in the tissues of fish reservoirs of the Murmansk region and the border areas of Norway and Finland. *Proceedings of the Fersman scientific session of the GI KSC RAS*. 2018;15: 509-512 (in Russian).
27. Vas'kovskaya L.F. *Circulation and transformation of chlorine-, phosphorus-mercury derivatives in the environment-biological object system*. Kiev: Naukova dumka; 1985 (in Russian).
28. Epifanova I.E., Epimahov V.G. The intake of mercury, lead and arsenic from feed and their accumulation in the body of cattle and sheep. *Byulleten' nauki i praktiki*. 2019; T.5, 3:173-186 (in Russian).
29. The Minamata Convention on Mercury. Available from: <https://www.mercuryconvention.org/> (accessed 12 May 2014).
30. U.S. Environmental protection Agency (EPA). Water quality criterion for the protection of human health methylmercury EPA-823 – R- 01-001; 2001. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-01/documents/methylmercury-criterion-2001.pdf>
31. Il'chenko I.N. Review of studies to assess the effects of mercury on the population in post-Soviet countries using human biomonitoring data. *Zdravoohranenie Rossijskoj Federacii*. 2015; 59 (1): 48-53 (in Russian).
32. Egorov A.I., Il'chenko I.N., Lyapunov S.M., Marochkina E.B. et al. Application of a standardized methodology of human biomonitoring to assess prenatal exposure to mercury. *Gigiena i sanitariya*. 2014; (5): 10-18 (in Russian).
33. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Scientific opinion on the risk of for public health related to the presence of mercury in food. *EFSA J*. 2012; 10: 2985-3136. doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985
34. Schulz C, Wilhelm M, Heudorf U, Kolossa-Gehring. Reprint of « Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission»//*Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2012; 215:150-158.
35. Indicators of exposure to chemicals based on biomonitoring. Report of the meeting in Catania, Italy, April 19-20, 2012 WHO; 2012.
36. FAO, WHO (2011). *Report of the FAO/WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption*. Rome: FAO (<http://www.fao.org/3/ba0136e/ba0136e00.pdf>, accessed 1 July 2021).
37. *Human biomonitoring: facts and figures*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2015.