

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВЛИЯНИИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ РТУТИ НА ОРГАНИЗМ

*Ртуть – один из наиболее распространенных тяжелых металлов, обладающих высокой биологической активностью по отношению к живым организмам. Влияние соединений ртути на клетки и организм человека в настоящее время активно изучается. В обзоре приводятся современные сведения о различных свойствах ртути, и его распространенности во внешней окружающей формах среды, о механизмах проникновения в клетки, генотоксическом, цитотоксическом воздействии. Особое внимание уделяется эффектам регулярной подверженности животных и человека соединениям ртути.*

**Ключевые слова:** ртуть, организм, механизм, метилртуть, окружающая среда, воздействие, кровь, волосы, рыба.

**Введение.** Известно, что ртуть (Hg) является мощным ядом и наиболее частым токсическим загрязнителем окружающей среды, влияющим на здоровье человека. Существуют разные формы ртути: элементарная (или металлическая), неорганическая (воздействию которой люди могут подвергаться при производстве) и органическая (метилртуть). Особенно опасны метилртуть и пары металлической ртути, поскольку в таком виде ртуть легче всего достигает головного мозга. Данные формы ртути различаются между собой по степени токсичности и по их воздействию на нервную, пищеварительную и иммунную системы, а также на легкие, почки, кожу и глаза.

Ртуть принадлежит к группе тиоловых ядов, блокирующих сульфгидрильные (тиоловые) группы, обеспечивающие активность более 50% белков-ферментов. В результате потери протеинами многих физико-химических и биологических свойств в организме нарушается белковый, углеводный и жировой обмен. Основными сферами избирательной токсичности ртути являются специфический эпителий почек, печени, кишечника и нервные клетки. Поэтому психоневрологическая симптоматика, нефропатия, гепатопатия часто преобладают в картине токсического действия [1,2].

**Актуальность.** По данным ВОЗ ртуть в качестве одного из десяти основных химических веществ, представляет значительную проблему для общественного здравоохранения [3]. Высвобождение ртути растет во всем мире, в связи с преобладанием угольных электростанций, которые высвобождают ртуть при сжигании угля, а также при растущем потреблении в энергии [4]. По мере высвобождения ртути в окружающей среде (в воздухе, осадочных отложениях, воде) проходит ряд сложных превращений. Когда ртуть попадает в почву или в осадочные отложения, она превращается в метилртуть, в основном под влиянием бактерий. Это проявляется в рыбе и рыбоядных видах животных по всему земному шару [5].

**Цель** статьи заключается в изучении различных форм ртути и ее распределения в окружающей среде, по сведениям литературы. Высокие уровни металлической, неорганической или органической ртути могут привести к необратимому повреждению головного мозга и почек. Установлено, что, волосы, цельная кровь и эритроциты являются биомаркерами метилртути, в то время как моча, цельная кровь и плазма крови используются для измерения воздействия неорганической ртути. Тогда как исследования взаимодействия генетического аппарата человека и окружающей среды имеют большее значение для оценки риска воздействия ксенобиотиков, в частности ртути [6,7].

В то же время, абсорбция, распределение, метаболизм и выведение разных форм ртути происходит по-разному, так метилртуть и неорганическая ртуть дифференциально воздействует на здоровье человека, что обусловлено с дивергентной абсорбцией, распределением, обменом веществ и выведением двух видов ртути в организм. По оценкам авторов, около 95% метилртути всасывается в кровь из желудочно-кишечного тракта при употреблении рыбы [6,7]. Большая часть метилртути связывается с гемоглобином в крови, в то время как свободно перемещающийся фракция связывается с низкой молекулярной массой тиоловых групп, таких как цистеин [8]. Комплекс метилртуть-цистеин имеет сходство с метионином, который проникает в клетку с помощью больших нейтральных аминокислот, что позволяет пересекать гематоэнцефалический и плацентарный барьер [9]. Связь ртути с метильными радикалами достаточно прочна и поэтому значительная часть вещества выводится из организма в неизмененном виде [10]. Поскольку выделение с мочой затруднено, а выводимое с желчью вещество подвергается частичной реабсорбции в кишечнике, период его полувыведения продолжителен и у человека может достигать 200 суток [11], хотя наблюдалось некоторое выделение с мочой [12].

Механизм токсического действия соединения ртути связан с взаимодействием сульфгидрильными группами белков. Блокируя их, ртуть изменяет свойства или инактивирует ряд жизненно важных ферментов (гидролитических и окислительных). Ртуть, проникнув в клетку, может включиться в структуру ДНК, что сказывается на наследственности человека. Головной мозг проявляет особое сродство к метилртути и способен аккумулировать почти в 6 раз больше, чем остальные органы. При этом более 95 % соединения ртути в тканях мозга находится в органической форме. В других тканях органические соединения деметилируются и превращаются в неорганическую ртуть. В эмбрионах ртуть накапливается так же, как и в организме матери, но содержание ртути в мозге плода может быть выше [13].

Из-за сродства метилртути к тиоловым группам и способности проникать через гематоэнцефалический барьер, метилртуть имеет длительный период полураспада в организме, который располагается в головном мозге и белковой ткани рыб. Метилртуть является липофильным соединением, с высоким сродством может связываться с богатой жирами нервной тканью. Миелин, являющийся важной составной частью нервной ткани, особенно восприимчив к повреждающему воздействию этого металла. Органическая ртуть абсорбируется достаточно легко как из легких, так и из пищеварительной системы. Более 90% ртути в крови связано с эритроцитами (гемоглобином) [14].

Интоксикация метилртутью под воздействием высоких доз, которая наблюдалась в заливе Минамата в 1950-е годы, приводят к множественным неврологическим симптомам, включая нарушение чувствительности в конечностях, атаксию (нарушение координации движений), не связанное с мышечной слабостью и неравновесием [15]. Внутритрубное воздействие метилртути предшествует деформации конечностей плода, проблемам координации, дизартрии (нарушение речи), возникающий вследствие органического поражения центральной нервной системы, а также умственной отсталости. Негативные последствия при хроническом воздействии низкой доз соединения ртути менее охарактеризованы, хотя некоторые данные противоречивы, и свидетельствуют о внутритрубном облучении детей и взрослых (например, неврологической, сердечно-сосудистой системы). Метилртуть ухудшает умственное развитие (обучение, память, внимание) детей, облученных внутритрубно от матери при употреблении морепродуктов [16]. Точно так же, внутритрубное воздействие метилртути было связано со снижением IQ [17], повышением кровяного давления у 7-летних детей [18], а также измененной вегетативной модуляцией variability сердечного ритма у 14 летних детей [19]. Несмотря на возможное влияние ртути на формирование ребенка в утробе матери у 8% американских, 89% тайваньских и 13% южнокорейских женщин детородного возраста уровень ртути в крови превышает биологически допустимые значения содержания ртути: в крови – 5 мкг/100 мл. Также в исследованиях Малова А.В., в соавторстве утверждается, что в крови беременных женщин (192 проб) содержание ртути в течение беременности увеличивается многократно [20].

Авторами исследования была возможность оценить взаимосвязь между потреблением рыбы и общей концентрации ртути в материнской, пуповинной крови и плаценты ткани беременных женщин на Тайване. При этом средняя концентрация ртути в материнской, пуповинной крови и ткани плаценты, составила  $9,1 \pm 0,40$  мкг / л,  $10,0 \pm 0,55$  микрограмм / л и  $19,2 \pm 1,8$  нг / г, соответственно. Общая концентрация ртути в крови матери, пуповинной крови и плаценты ткани обычно превышала рекомендуемые значения, и были выше у женщин, которые ели рыбу более чем в три раза в неделю во время беременности [21]. Регуляторные рекомендации, как правило, ориентированы на женщин детородного возраста, так как внутритрубное развитие считается наиболее уязвимым моментом развивающегося организма [22]. Тем не менее, пищевая ценность рыбных продуктов высока и необходима для нормального роста и развития плода, вследствие чего, анализ пользы и рисков потребления рыбы постоянно переоценивается [23-25].

Ассоциации между метилртутью и неблагоприятных последствий для здоровья, обнаружены у взрослого населения с низкой до умеренно высокой экспозиции при потреблении рыбы. Так в своих исследованиях, Carra с соавторстве, утверждают, что у мужчин от частого употребления в свежем виде тунца среднее значение уровня ртути в крови составило 44 мкг/л, при котором они хуже выполняли нейроповеденческие тесты по сравнению с контрольной группой (средний показатель уровня ртути в крови составил 3,9 мкг/л) [26].

Было также установлено, что стоматологическая амальгама является основным источником повышенного воздействия неорганической ртути в общей популяции людей и отдельных профессиональных группах (врачи, шахтеры, промышленных работников каустической соды) [27]. Элементарная ртуть входит в состав около 50% зубных пломб из амальгамы. Пары ртути ( $Hg_0$ ) попадают при высвобождении из амальгамы во рту, которые влияют на уровень ртути в моче [28]. После абсорбции в легких, пары ртути окисляются в неорганическую форму  $Hg^{2+}$ , которые связывается с тиоловыми группами белков, приводящие к токсичности. Основной мишенью неорганической ртути является почка, хотя также она может воздействовать и на нервную систему [2]. Токсические эффекты от высокой дозы облучения неорганической ртутью охарактеризованы на примере строителей, у которых уровень ртути в моче составил 100 мкг/л. У данных людей наблюдались множественные нейропсихологические симптомы, в том числе повышенное настроение, тревога и забывчивость [29]. Высокие дозы неорганической ртути дополнительно приводят к повреждению почечной трубки и протеинурии [30]. Различные исследования, авторов изучавшие воздействие ртути на рабочих, обнаружили связь между низкими дозами неорганической ртути и снижением когнитивной и двигательной функции [31]. Группа исследователей под руководством Echeverria D., обнаружили, что стоматологи подвергаются воздействию паров ртути, которые вызывают тремор рук оказывают негативное воздействие на память и когнитивной способности [32]. У 30% стоматологов при повышенном уровне ртути (20 мкг/г в тканях) обнаружены случаи полиневропатии [33]. Исследования о влиянии неорганической ртути на сердечно-сосудистую систему у людей мало изучено, хотя исследования на животных позволяют предположить, что неорганическая ртуть может подавлять ритм сердца и артериальное давление [34,35].

Несмотря на значительную информацию о токсического воздействия механизме ртути на организм, к настоящему времени имеется сравнительно немного данных о межиндивидуальной изменчивости и биомаркеров ртути. Так воздействие ртути может оцениваться путем замера уровней содержания загрязнителей в различных тканях организма (волосы, кровь, моча, ногти). Эти замеры содержания загрязнителей и их метаболитов, также известных как биологические маркеры (или биомаркеры). Биомаркеры используются в качестве инструментов оценки воздействия на организм человека, а также как инструменты контроля мониторинга воздействия ртути на отдельных лиц и группы населения.

Авторами установлено, что волосы, цельная кровь и эритроциты являются биомаркерами метилртути, в то время как моча, цельная кровь и плазма крови используются для измерения воздействия неорганической ртути [9,10,36]. Предполагается, что около 80% органической формы ртути содержится в волосах, хотя эта доля варьирует от 79 до 99%. Соотношение органических и неорганических фракций ртути в волосах при употреблении рыбы позволяет предположить, что неорганическая часть может возникнуть в результате деметилирования метилртути [9], хотя некоторые воздействия паров ртути могут быть отражены в волосах лиц, имевших профессиональный контакт [37]. В общем случае, метилртуть связывается с цистеином, который включается в растущий волосяной фолликул. Этот вид биомаркера отражает среднюю нагрузку на организм в течение долгого времени, каждый сантиметр аппроксимирующего волоса показывает воздействие за один месяц [38]. Самым важным источником непродолжительной экспозиции к ртути является рыба и другие морепродукты [39]. Большая часть ртути, потребляемой с рыбой или морепродуктами, находится в форме легко всасываемой органической монометилртути [40], которая накапливается в волосах. Уровень ртути в волосах людей, которые не употребляют рыбу, обычно не

превышает 0,5 мкг/г. Уровень ртути в крови примерно в 250 раз ниже, чем в волосах [41]. Более высокий уровень ртути обычно выявляется у матерей по сравнению с детьми.

Уровень ртути в крови отражает экспозицию путем потребления рыбы, питьевой воды, вдыхания паров элементарной ртути в окружающем воздухе, а также экспозиции от зубной амальгамы и медицинских препаратов.

Содержание ртути в крови отражает воздействие метилртути от недавно потребляемой рыбы перед распространением в другие ткани. Неорганическая ртуть также может быть обнаружена в крови, в частности, в плазме. Потребление рыбы коррелирует с общим содержанием ртути в цельной крови в эритроцитах, и с органической ртутью в цельной крови, эритроцитах, плазме, тогда как содержание ртути в зубной амальгаме коррелирует с неорганической фракцией в плазме и цельной крови. Существует изменчивость в соотношении органической ртути, которая локализуется в эритроцитах (76-100%) в сравнении с плазмой (5-20%), а доля неорганической ртути в крови, обнаруженной в эритроцитах (15-54%) по сравнению с плазмой (30-81%) [9]. Существенная изменчивость наблюдалась в период полураспада метилртути в различных тканях или биомаркерах. Так, Birke G., в соавторстве наблюдали скорость выведения метилртути в результате употребления рыбы, при котором расчетный период полураспада в волосах составил в диапазоне от 33-120 дней, 99-120 дней в клетках крови и 47-130 дней в плазме [42].

Уровень ртути в моче отражает экспозицию в основном к неорганической и элементарной ртути, как правило > 98% неорганической формы [9,37]. В общей популяции основным источником экспозиции являются пломбы из амальгамы [30] и у людей с профессиональным контактом с неорганической ртутью [43, 44]. Изменчивость в мочевой экскреции ртути может коррелировать с различными показателями удержания в почках, как наблюдается у людей [45] и мышей [46], у последних зависело от породы и пола особи.

Отношение биомаркеров ртути, в частности, соотношение содержания ртути в волосах и в крови, является еще одним свидетельством межиндивидуальной вариабельности в токсикокинетике ртути. Соотношение уровни ртути в волосах и в крови, как правило, составляет 250:1, хотя среднее значение колеблется от 140 до 370 в популяционных исследованиях, при этом диапазон между отдельными лицами еще шире (максимум >600) [47]. Множественные факторы лежат в основе наблюдаемых различий, в том числе возраст [48], содержание органической ртути в крови, а также форма потребления рыбы. При редком потреблении рыбы уровень ртути в крови не достигнет стабильного состояния [49].

Вместе с тем межиндивидуальная изменчивость и поглощение ртути показало, что оценка текущего риска часто не в состоянии объяснить межиндивидуального различия вредных веществ в организме, которые возникают при изменчивости метаболизма и детоксикации ртути. Видоизменяемость может влиять на восприимчивость к накоплению ртути с последующей токсичностью. Дифференциальное накопление ртути изучено Canuel R., в соавторстве, которые предположили, что уровень ртути в волосах основан на средних параметрах (таких как, полураспад метилртути, скорость роста волос, соотношение волос к крови). Были получены данные о уровне содержания ртути в нескольких популяции рыбы и сравнивалась изменение ртути в волосах у людей в зависимости от количества потребления рыбы [50]. Широкая изменчивость между прогнозируемым и измеренным уровнях ртути в волосах наблюдалось с максимальной 14-кратной разницей в одной популяции. Аналогичным образом, Lirfert F., в соавторстве рассчитали соотношение уровня ртути в волосах к поглощению ртути, при котором обнаружили существенные различия в 11 исследованиях (в диапазоне от 2,3 до 18 лет). Вариабельность генов, участвующих в метаболизме и элиминации ртути может частично лежать в основе наблюдаемых различий в поглощении ртути и биомаркеров, а также различие в периоде полураспада и распределения в биомаркерах [51].

Учеными установлено, что при поступлении в организм человека ртуть распределяется по всем органам и тканям. Наибольшее количество ее находят в почках, наименьшее - в печени. Из организма ртуть в основном выводится с мочой, частично кишечником, слюной и потом [52].

Исследования проведенные авторами в Казахстане городе Темиртау, показало, что у 17% населения отмечается содержания ртути в волосах. Вместе с тем концентрация ртути в волосах превышает именно у мужчин рыбаков до 45 лет, в связи с частым потреблением рыбы выловленной из реки Нуры [53]. Связывание метилртути волосными фолликулами составляет <10%, что приводит к ликвидации метилртути из организма. Это соотношение, как ожидается, будет поддерживаться на всех уровнях, когда доминирующая форма ртути представляет собой метилртуть. [54].

**Заключения.** Таким образом, среди вредных химических веществ, загрязняющих окружающую среду, особое место принадлежит ртути во всех ее формах. Во всех странах мира она включена в списки загрязняющих веществ 1-го класса опасности. В непромышленных условиях основные пути воздействия ртути на человека связаны с воздухом, пищевыми продуктами, питьевой водой. Возможны и другие, нередкие в быденной жизни пути влияния, - через кожу, при купании в загрязненной воде, при контакте с загрязненными поверхностями и при употреблении рыбы. Загрязненность окружающей среды ртутью сопровождается носительством этого токсиканта в крови человека. У беременных женщин и детей происходит значительное накопление ртути в крови, что может приводить к негативным изменениям некоторых показателей организма, т.е. состоянию предпатологии или патологии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 United States Environmental Protection Agency. – 2013 <http://www.epa.gov/ttn/atw/allabout.html>
- 2 Филатов Б.Н., Чарова Т.А. Особенности диагностики и экспертизы поражений ртутью // Загрязнение ртутью окружающей среды: эмиссия в атмосферу, восстановление территорий и влияние на здоровье. Международный семинар. - 2007. – С.43-44.
- 3 Clarkson T.W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds // Crit. Rev. Toxicol. – 2006. – Vol.36. – P.609-662.
- 4 Millman, A., Tang, D., Perera, F.P. Air pollution threatens the health of children in China // Pediatrics. – 2008. – Vol.122. – P.620-628.
- 5 Scheuhammer, A.M., Meyer, M.W., Sandheinrich, M.B., Murray, M.W. Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish // Ambio. – 2007. – Vol.36. – P.12-18.
- 6 Clarkson, T.W., Vyas, J.B. Ballatori, N. Mechanisms of mercury disposition in the body // Am. J. Ind. Med. – 2007. – Vol.50. – P.757-764.
- 7 Mergler, D., Anderson, H.A., Chan, L.H.M., Mahaffey, K.R., Murray, M., Sakamoto, M., et al. Methylmercury exposure and health effects in humans: a worldwide concern // Ambio – 2007. – Vol.36. – P.3-11.
- 8 Doi, R., Tagawa, M., Tanaka, H., Nakaya, K. Hereditary analysis of the strain difference of methylmercury distribution in mice // Toxicol. Appl. Pharmacol. – 1983. – Vol.69. – P.400-406.
- 9 Simmons-Willis, T.A., Koh, A.S., Clarkson, T.W., Ballatori, N. Transport of a neurotoxicant by molecular mimicry: the methylmercury-L-cysteine complex is a substrate for human L-type large neutral amino acid transporter (LAT) 1 and LAT2 // Biochem. J. – 2002. – Vol.367. – P.239-246.
- 10 Berglund, M., Lind, B., Björnberg, K.A., Palm, B., Einarsson, Ö., Vahter, M. Inter-individual variations of human mercury exposure biomarkers: a cross-sectional assessment // Environ. Health 4. – 2005. doi:10.1186/1476-06X-4-20.
- 11 Ballatori, N., Clarkson, T.W. Biliary secretion of glutathione and glutathione-metal complexes // Fundam. Appl. Toxicol. – 1985. – Vol.5. – P.816-831.
- 12 Carta, P., Flore, C., Alinovi, R., Ibba, A., Tocco, M.G., Aru, G., et al. Sub-clinical neurobehavioral abnormalities associated with low level of mercury exposure through fish consumption // Neurotoxicology. – 2003. – Vol.24. – P.617-623.
- 13 Hightower, J.M., Moore, D. Mercury levels in high-end consumers of fish // Environ. Health Perspect. – 2003.-Vol.111. – P.604-608.
- 14 Roman, H.A., Walsh, T.L., Coull, B.A., Dewailly, E., Guallar, E., Hattis, D., et al., Evaluation of the cardiovascular effects of methylmercury exposures: current evidence supports development of a dose-response function for regulatory benefits analysis // Environ. Health Perspect. – 2011.-Vol.119.(5) – P.607-614.
- 15 Eto, K. Minamata disease // Neuropathology. – 2000. – Vol.20. – P. 14-19.
- 16 Grandjean, P., Weihe, P., White, R.F., Debes, F., Araki, S., Yokoyama, K., et al. Cognitive deficit in 7-year old children with prenatal exposure to methylmercury // Neurotox. Teratol. – 1997. – Vol.19. – P.417-428.
- 17 Trasande, L., Landrigan, P.J., Schechter, C. Public health and economic consequences of methyl mercury toxicity to the developing brain // Environ. Health Perspect. – 2005. – Vol.113. – P.506-596.
- 18 Sørensen, N., Murata, K., Budtz-Jørgensen, E., Weihe, P., Grandjean, P. Prenatal methylmercury exposure as a cardiovascular risk factor at seven years of age // Epidemiology – 1999. – Vol.10. – P.370-375.
- 19 Grandjean, P., Murata, K., Budtz-Jørgensen, E., Weihe, P. Cardiac autonomic activity in methylmercury neurotoxicity: 14 year follow-up of a Faroese birth cohort // J. Pediatr. – 2004. – Vol.144. – P.169-176.
- 20 Малов, А.М., Сибиряков, В.К., Муковский, Л.А., Семенов, Е.В. Ртуть как фактор риска для здоровья человека // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 16. - 2014.- №5(2).- С.907-910
- 21 Hsu, C., Liu, P., Chien, L.C., Chou, S., Han, B. Mercury concentration and fish consumption in Taiwanese pregnant women // BJOG. – 2007. – Vol.114. – P.81-85.
- 22 Trasande, L., Landrigan, P.J., Schechter, C. Public health and economic consequences of methyl mercury toxicity to the developing brain // Environ. Health Perspect. – 2005. – Vol.113. – P.506-596.
- 23 NRC (National Research Council) Toxicological Effects of Methylmercury // National Academy Press, Washington, D.C. – 2000.
- 24 Cohen, J.T., Bellinger, D.C., Connor, W.E., Shaywitz, B.A. A quantitative analysis of prenatal intake of n-3 polyunsaturated fatty acids and cognitive development // Am. J. Prev. Med. – 2005. – Vol. 29. – P.366-374.
- 25 Cohen, J.T., Bellinger, D.C., Connor, W.E., Kris-Etherton, P.M., Lawrence, R.S., Savitz, D.A., et al. A quantitative risk-benefit analysis of changes in population fish consumption // Am. J. Prev. Med. – 2005. – Vol.29. – P.325-334.
- 26 Carta, P., Flore, C., Alinovi, R., Ibba, A., Tocco, M.G., Aru, G., et al. Sub-clinical neurobehavioral abnormalities associated with low level of mercury exposure through fish consumption // Neurotoxicology. – 2003. – Vol.24. – P.617-623.
- 27 Martin, M.D., Naleway, C., Chou, H.N. Factors contributing to mercury exposure in dentists // J. Am. Dent. Assoc. – 1995. – Vol.126. – P.1502-1511.
- 28 Dye, B.A., Schober, S.E., Dillon, C.F., Jones, R.L., Fryar, C., McDowell, M., et al. Urinary mercury concentrations associated with dental restorations in adult women aged 16-40 years: United States, 1999-2000 //Occup. Environ. Med. – 2005. – Vol.62. – P.368-375.
- 29 Bluhm, R.E., Bobbitt, R.G., Welch, L.W., Wood, A.J.J., Bonfiglio, J.F., Sarzen, C., et al. Elemental mercury vapor toxicity, treatment, and prognosis after acute, intensive exposure in chloralkali plant workers. Part I: History, neuropsychological findings and chelator effects // Hum. Exp. Toxicol. – 1992. – Vol.11. – P.201-210.
- 30 ATSDR 1999 Toxicological Profile for Mercury // U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA.
- 31 Echeverria, D., Woods, J.S., Heyer, N.J., Martin, M.D., Rohlman, D.S., Farin, F.M., et al. The association between serotonin transporter gene promoter polymorphism (5-HTTLPR) and elemental mercury exposure on mood and behavior in humans // J. Toxicol. Environ. Health A. – 2010. – Vol.73. – P.1003-1020.
- 32 Echeverria, D., Woods, J.S., Heyer, N.J., Rohlman, D., Farin, F.M., Bittner, A.C., et al. Chronic low-level mercury exposure, BDNF polymorphism, and associations with cognitive and motor function // Neurotox. Teratol. – 2005. – Vol.27. – P.781-796.

- 33 Shapiro, I.M., Cornblath, D.R., Sumner, A.J., Uzzell, B., Spitz, L.K., Ship, I.I., et al. Neurophysiological and neuropsychological function in mercury-exposed dentists. *Lancet*. – 1982. – Vol.22. – P.1147-1150.
- 34 Massaroni, L., Rossoni, L.V., Amaral, S.M., Stefanon, I., Oliveira, E.M., Vassallo, D.V. Haemodynamic and electrophysiological acute toxic effects of mercury in anaesthetized rats and in langendorff perfused rat hearts // *Pharmacol. Res.* – 1995. – Vol.32. – P.27-36.
- 35 Rossoni, L.V., Amaral, S.M., Vassallo, P.F., Franca, A., Oliveira, E.M., Varner, K.J., et al. Effects of mercury on the arterial blood pressure of anesthetized rats // *Braz. J. Med. Biol. Res.* – 1999. – Vol.32. – P.989- 997.
- 36 Cherian, M.G., Hursh, J.B., Clarkson, T.W., Allen, J. Radioactive mercury distribution in biological fluids and excretion in human subjects after inhalation of mercury vapor // *Arch. Environ. Health.* – 1978. – Vol.33. – P.109-114.
- 37 Morton, J., Mason, H.J., Ritchie, K.A., White, M. Comparison of hair, nails, and urine for biological monitoring of low level inorganic mercury exposure in dental workers // *Biomarkers.* – 2004. – Vol.9. – P.47-55.
- 38 Mergler, D., Anderson, H.A., Chan, L.H.M., Mahaffey, K.R., Murray, M., Sakamoto, M., et al. Methylmercury exposure and health effects in humans: a worldwide concern // *Ambio* – 2007. – Vol.36. – P.3-11.
- 39 Horvat M, Šlejkovec Z, Falnoga I. Arsenic: biomarkers of exposure and human biomonitoring. *Biomarkers and human biomonitoring* // Royal Society of Chemistry. – 2012. – Vol.1. – P.418-445.
- 40 NRC (National Research Council), 2000. *Toxicological Effects of Methylmercury* // National Academy Press, Washington, D.C.
- 41 Horvat M, Snoy Tratnik J, Miklavcic A. Mercury: biomarkers of exposure and human biomonitoring. *Biomarkers and human biomonitoring* // Royal Society of Chemistry. – 2011. – Vol.1. – P.381-417.
- 42 Birke, G., Johnels, A.G., Plantin, L.O., Sjöstrand, B., Skerfving, S., Westermark, T. Studies on human exposed to methylmercury through fish consumption // *Arch. Environ. Health* – 1972. – Vol.25. – P.71-91.
- 43 Gibb, H.J., Kozlov, K., Buckley, J.P., Centeno, J., Jurgenson, V., Kolker, A., et al. Biomarkers of mercury exposure at a mercury recycling facility in Ukraine // *J. Occup. Environ. Hyg.* – 2008. – Vol.5. – P.483-489.
- 44 Paruchuri, Y., Siuniak, A., Johnson, N., Levin, E., Mitchell, K., Goodrich, J.M. et al. Occupation and environmental mercury exposure among small-scale gold miners in the Talensi-Nabdam District of Ghana's Upper East region // *Sci. Total Environ.* – 2010. – Vol.408. – P. 6079-6085.
- 45 Hursh, J.B., Cherian, M.G., Clarkson, T.W., Vostal, J.J., Mallie, R.V. Clearance of mercury (Hg-197, Hg-203) vapor inhaled by human subjects // *Arch. Environ. Health.* – 1976. – Vol.31. – P.302-309.
- 46 Ekstrand, J., Nielsen, J.B., Havarinasab, S., Zalups, R.K., Soderkvist, P., Hultman, P. Mercury toxicokinetics- dependency on strain and gender // *Toxicol. Appl. Pharmacol.* – 2009. – Vol.243. – P.283-291.
- 47 Bartell, S.M., Ponce, R.A., Sanga, R.N., Faustman, E.M. Human variability in mercury toxicokinetics and steady state biomarker ratios. *Environ. Res.* – 2000. – Vol.84. – P.127-132.
- 48 Budtz-Jørgensen, E., Grandjean, P., Jørgensen, P.J., Weihe, P., Keiding N. Associations between mercury concentrations in blood and hair in methylmercury-exposed subjects at different ages // *Environ. Res.* – 2004. – Vol.95. – P.385-393.
- 49 Bartell, S.M., Ponce, R.A., Sanga, R.N., Faustman, E.M. Human variability in mercury toxicokinetics and steady state biomarker ratios // *Environ. Res.* – 2000. – Vol.84. – P.127-132.
- 50 Canuel, R., de Grosbois, S.B., Atikessse, L., Lucotte, M., Arp, P., Ritchie, C., et al. New evidence on variations of human body burden of methylmercury from fish consumption // *Environ. Health Perspect.* – 2006. – Vol.114. – P.302-306.
- 51 Lipfert, F.W. Estimating exposure to methylmercury: effects of uncertainties. *Water Air Soil Pollut.* – 1997. – Vol.97. – P.119-145.
- 52 Соловьев. Н.Д., Иваненко, А.А., Рутковский, Г.В., Иваненко, Н.Б., Носова, Е.Б. Прямое определение ртути в крови на уровне токсической концентрации методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией // *Микроэлементы в медицине.* - 2009.- №10 (1-2).-С.79-84.
- 53 Hui-Wen Hsiao., Susanne M. Ullrich, Trevor W. Tanton. Burdens of mercury in residents of Temirtau, Kazakhstan: I: Hair mercury concentrations and factors of elevated hair mercury levels// *Science of The Total Environment.* - 2011-Vol.409. – P.2272-2280
- 54 Magos, L., Clarkson, T.W. The assessment of the contribution of hair to methyl mercury excretion // *Toxicol. Lett.* – 2008. – Vol.182. – P.48-49.

#### **Л.Е. ШИНЕТОВА, С.А. БЕКЕЕВА**

#### **АҒЗАҒА СЫНАПТЫҢ ӘРТҮРЛІ ФОРМАЛАРЫНЫҢ ӘСЕР ЕТУІ ТУРАЛЫ ҚАЗІРГІ КЕЗДЕГІ КӨЗҚАРАСТАР.**

**Түйін:** Сынап тірі ағзаларға қатысты жоғары биологиялық белсенділікке ие, кеңінен таралған ауыр металлдардың бірі болып табылады. Қазіргі кезде жасушалар мен адам ағзасына сынап қосылыстарының әсері белсенді түрде зерттелуде. Шолуда сынаптың әртүрлі қасиеттері, оның қоршаған ортада таралуы, жасушаларға ену механизмдері генотоксикалық, цитотоксикалық әсері туралы заманауи көрсетілген. Жануарлар мен адамдардың сынап қосылыстарына үнемі ұшырау әсеріне ерекше көңіл бөлінеді.

**Түйінді сөздер:** сынап, ағза, механизм, метилсынап, қоршаған орта, әсер, қан, шаш, балық.

**L.E. SHINETOVA, S.A. BEKEEVA**

THE PRESENT-DAY IDEAS ABOUT IMPACT OF FORMS DIFFERENT MERCURY IN THE ORGANISM.

**Resume:** Mercury is one of the most widespread heavy metals with high biological activity towards living organisms. At the present time the impact of mercuric compounds on human cells and organism is an object of thorough investigation. In the current review, we represent recent data about some properties of mercury, its natural occurrence, the actual mechanisms involved in the transport of mercuric ions inside the cells, its genotoxic, cytotoxic and organotoxic effects. We put an emphasis on the consequences of regular human and animal exposure to mercuric compounds.

**Keywords:** mercury, organism, mechanism, methylmercury, surrounding environment, effect, blood, hair, fish.