

**ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗДРАВООХРАНЕНИЮ**DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-887-891>

УДК 542.74:546.49:613.6

© Коллектив авторов, 2019

Моисеева Е.В., Потапова И.А.

**Атомно-абсорбционное определение ртути в моче методом холодного пара с использованием ртутно-гидридной приставки**

ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора, ул. Семашко, 20, Нижний Новгород, Россия, 603950

Ртуть — один из самых распространенных в различных отраслях промышленности и при этом опасных химических веществ. Она способна депонироваться в организме и оказывать токсическое действие в течение длительного времени после прекращения контакта. Под влиянием ртути у работников могут развиваться различные интоксикации, в результате которых возможны патологические изменения нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной, иммунной и репродуктивной систем. В условиях производства ртуть проникает в организм, как правило, в виде паров (всасывается около 80%) и взвешенных частиц. Неорганические формы ртути выводятся в основном с мочой (60%). Тем не менее, в настоящее время недостаточно внимания уделяется проблеме определения содержания ртути в образцах мочи. На сегодняшний день в мировой практике не существует системного подхода к определению малых доз ртути в организме, в результате чего затрудняется своевременное выявление нарушений здоровья населения. Во многом это объясняется отсутствием высокочувствительных и высокоэффективных методов анализа, позволяющих проводить рутинные измерения с минимальными затратами и высокой точностью. Используемые в настоящее время методы либо достаточно дороги, либо обладают низкой точностью/чувствительностью.

Цель исследования — разработка методики атомно-абсорбционного определения ртути в моче методом холодного пара, которая бы позволила при минимальных затратах повысить точность и чувствительность выявления ртути в организме. Количественное измерение ртути в пробах мочи осуществлялось на атомно-абсорбционном спектрометре с ртутно-гидридной приставкой с использованием модельных растворов разной концентрации.

В ходе исследования определены оптимальные условия пробоподготовки образцов мочи, установлен диапазон концентраций для построения градуировочного графика, изучено влияние матрицы на точность анализа методом «введено-найдено». Нижний предел обнаружения разработанной методики составил 0,05 мкг/л, верхний предел — 100 мкг/л (при необходимости может быть повышен путем дополнительного разбавления). Относительная погрешность определения в зависимости от концентрации варьировалась от 3 до 15%.

Разработан высокочувствительный, доступный в исполнении и сравнительно недорогой метод определения ртути в моче, который позволит с высокой точностью диагностировать фоновые содержания ртути в моче, что особенно важно при обследовании работников производств, связанных с использованием ртути и ее соединений, а также населения, проживающего в близких к данным производствам районах.

**Ключевые слова:** элементный анализ; ртуть; моча; атомно-абсорбционная спектроскопия; ртутно-гидридная приставка; метод холодного пара

**Для цитирования:** Моисеева Е.В., Потапова И.А. Атомно-абсорбционное определение ртути в моче методом холодного пара с использованием ртутно-гидридной приставки. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59 (10). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-887-891>

**Для корреспонденции:** Моисеева Евгения Витальевна, науч. сотр. отдела гигиены ФБУН ННИИГП Роспотребнадзора. E-mail: [PIA@nniigr.ru](mailto:PIA@nniigr.ru)

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Evgenia V. Moiseeva, Irina A. Potapova

**Atomic absorption determination of mercury in urine by cold steam method using mercury-hydride prefix**

Nizhny Novgorod research institute for hygiene and occupational pathology, Rospotrebnadzor, Semashko Str., 20, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Mercury is one of the most common in various industries and at the same time dangerous chemicals. It is able to be deposited in the body and have a toxic effect for a long time after the cessation of contact. Under the influence of mercury, workers can develop various intoxications, as a result of which pathological changes in the nervous, cardiovascular, endocrine, immune and reproductive systems are possible.

Under production conditions, mercury enters the body, usually in the form of vapors (absorbed about 80%) and suspended particles. Inorganic forms of mercury are excreted mainly in the urine (60%). However, insufficient attention is currently being paid to the problem of determining the mercury content in urine samples. To date, in world practice there is no systematic approach to the determination of small doses of mercury in the body, as a result of which it is difficult to timely identify

public health disorders. This is largely due to the lack of highly sensitive and highly effective methods of analysis, allowing routine measurements with minimal cost and high accuracy. The methods currently used are either quite expensive or have low accuracy/sensitivity.

The aim of the study was to develop a method of atomic absorption determination of mercury in urine by cold steam, which would allow at minimal cost to increase the accuracy and sensitivity of mercury detection in the body.

Materials and methods. Quantitative measurement of mercury in urine samples was carried out on an atomic absorption spectrometer with a mercury-hydride prefix using model solutions of different concentrations.

Results. The study determined the optimal conditions for sample preparation of urine samples, set the range of concentrations for the construction of the calibration schedule, studied the effect of the matrix on the accuracy of the analysis by the "introduced-found" method. The lower limit of detection of the developed technique was 0.05 mcg/l, the upper limit—100 mcg/l (if necessary, it can be increased by additional dilution). The relative error of determination depending on the concentration varied from 3 to 15%.

Conclusions. A highly sensitive, affordable and relatively inexpensive method for the determination of mercury in urine has been developed, which will allow to diagnose with high accuracy the background contents of mercury in urine, which is especially important when inspecting workers of industries associated with the use of mercury and its compounds, as well as the population living in areas close to these industries.

**Key words:** elemental analysis; mercury; urine; atomic absorption spectroscopy; mercury-hydride prefix; cold steam method

**For citation:** Moiseeva E.V., Potapova I.A. Atomic absorption determination of mercury in urine by cold steam method using mercury-hydride prefix. *Med. truda i prom. ekol.* 2019; 59 (10). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-887-891>

**For correspondence:** Evgeniya V. Moiseeva, research assistant of Hygiene Department of the Central Research Institute of Hygiene of Rospotrebnadzor. E-mail: [PIA@nniigp.ru](mailto:PIA@nniigp.ru)

**Funding:** The study had no funding.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**Введение.** Одним из наиболее распространенных факторов, обуславливающих развитие профессиональных и сопутствующих заболеваний, является химический. При этом необязательно речь идет о химической промышленности. Ртуть, являющаяся одним из самых токсичных и глобальных загрязнителей, находит широкое применение в процессе промышленной добычи ртути и переработки руды, в производстве хлора и каустической соды методом ртутного электролиза, энергетической отрасли, производстве измерительных приборов и люминесцентных ламп, производстве медицинских препаратов, косметических масел [1]. Ни один из элементов, относящихся к первому классу опасности, не имеет столь широкого применения, такой повсеместной доступности и критического уровня накопления в различных объектах, в том числе биологических.

Данный металл проявляет высокую токсичность, является кумулятивным ядом и попадает в организм ингаляционным, пероральным и трансдермальным путями. У человека высокое содержание ртути в мозговой ткани было обнаружено спустя 10 лет после прекращения контакта с ней [1]. Кроме того, имеются данные о постконтактном действии ртути на организм работающего: даже в отдаленном периоде после прекращения контакта с токсикантом изменения в состоянии периферических нервов и центральных проводящих структур не только не носят обратимого характера, но еще более усугубляются [2]. Из этого следует, что за больными хронической ртутной интоксикацией требуется постоянное динамическое наблюдение даже после прекращения ими производственного контакта с данным металлом [3].

Воздействие ртути на организм сопровождается глубокими токсическими эффектами на клеточном и органном уровне. В результате возможны патологические изменения нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной, иммунной систем, репродуктивные и эмбриональные расстройства.

Установлено, что в организме человека ртуть распределяется по всем органам и тканям, подобно  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$ , ионы  $\text{Hg}^{2+}$  индуцируют генерацию свободных радикалов, повреждающих ДНК, что сказывается на наследственности человека. Максимальная концентрация ртути отмечается в почках и составляет 2,7 мкг/г. В других тканях эта концентрация ниже и равна 0,05–0,3 мкг/г. Из организма ртуть в основном выводится с мочой [4]. Период полувыведения

металлической ртути у человека составляет 70 дней, органической — до 80 дней (в некоторых источниках — до 200 суток [1]), паров — 50 дней. Токсическая доза для человека — 0,4 мг; летальная доза — 150–300 мг [5–7]. Депонированная ртуть в течение длительного времени после прекращения контакта способна поступать в кровь и может служить причиной интоксикации [8]. Порог токсичности поступления ртути в организм человека равен 50 мкг/день [9,10]. В России закономерности накопления и распределения ртути в живых организмах, включая человека, изучены недостаточно. Отсутствие в мировой практике системного подхода к определению воздействия малых доз ртути, стандартизации клинических изменений затрудняет своевременное выявление нарушений здоровья населения, проведение профилактических мероприятий [11].

Поскольку неорганическая и элементарная ртуть по большей части выводится с мочой (до 60%), то представляло интерес констатировать отравление этим металлом по содержанию его в моче (допустимое содержание ртути в моче составляет 0–10 мкг/л). Это наиболее простой и точный способ диагностики, не травмирующий пациента. Он может быть применен сразу после предполагаемого отравления, так как пробу мочи можно заморозить и впоследствии доставить в лабораторию.

Для определения ртути в биосредах необходимы высокочувствительные, высокоэффективные методы анализа, обладающие достаточной точностью определения. К таким методам, в первую очередь, относятся масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой [12], атомно-абсорбционная спектрометрия с термической атомизацией пробы и в варианте абсорбции холодных паров ртути с использованием специальных ртутно-гидридных приставок (РГП) к атомно-адсорбционным спектрометрам или в ртутных анализаторах [13,14].

При количественном определении ртути методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) возникают некоторые трудности, обусловленные физико-химическими свойствами элемента: ртуть обладает очень высоким электрическим потенциалом –10,44 эВ, что при масс-спектрометрическом анализе существенно ограничивает эффективность ее ионизации в плазме и приводит к низкой чувствительности метода. Кроме того, существенное затруднение вызывает «эффект памяти». Данное

мешающее влияние объясняется плохой «смываемостью» так называемых остаточных количеств ртути на подающих путях масс спектрометра, распылительной камере и горелке, деталях интерфейса. При этом диапазон определяемых концентраций ртути в моче составляет 0,4–100 мкг/л при погрешности измерений 24% [12].

Атомно-абсорбционный метод с термической атомизацией предполагает подбор условий испарения и атомизации, а также подбор модификатора для устранения матричного эффекта [13]. В настоящее время существует аттестованная методика определения ртути в моче методом холодного пара, позволяющая проводить определение в диапазоне концентраций от 0,5 до 7 мкг/м<sup>3</sup> [15]. Данная методика обладает достаточно низкой чувствительностью — 0,5 мкг/м<sup>3</sup> и высокой погрешностью измерений — до 40%, что может быть критичным при проведении измерений на уровне фоновых значений.

**Цель исследования** — разработка методики атомно-абсорбционного определения ртути в моче методом холодного пара, которая бы позволила при минимальных затратах повысить точность и чувствительность определения ртути в организме.

Количественное определение ртути в пробах мочи осуществлялось на атомно-абсорбционном спектрометре с ртутно-гидридной приставкой, которая восстанавливает ртуть до атомарного состояния путем дозирования в анализируемый раствор 10% хлористого олова и отгонки паров элементарной ртути от матрицы пробы из реактора в кварцевую кювету при борботировании анализируемого раствора воздухом, что позволяет устранить влияние основы и достигнуть высокой селективности методики.

При разработке методики использовались следующие реактивы: соляная, азотная, серная кислоты особой чистоты; олово двуххлористое 2-водное химически чистое; бихромат калия химически чистый; вода дистиллированная (ГОСТ 6709); спирт амиловый (ТУ 6–09–3467–78); стандартный образец соли ртути с массовой концентрацией ртути 1,0 мг/см<sup>3</sup> (ГСО 3497); воздух сжатый класса 7 (ГОСТ 17433–80).

В качестве вспомогательного оборудования применялась баня лабораторная шестиместная с рабочим диапазоном от температуры окружающей среды до 100 °С; дискретностью установки температуры 0,1 °С; точностью поддержания температуры при номинальном объеме жидкости ±0,2 °С.

**Разработка методики определения, результаты исследования и их обсуждение. Подготовка посуды для проведения анализа.** Для получения точных и достоверных результатов необходимо, чтобы инструментальный фоновый уровень был минимальным. В связи с этим особое внимание уделялось подготовке аналитической посуды, которая предварительно обрабатывалась хромовой смесью, ополаскивалась несколько раз дистиллированной водой, выдерживалась не менее 6 часов в растворе 1М азотной кислоты, а далее промывалась дистиллированной водой.

Следует отметить, что в посуде, впервые используемой для приготовления эталонов, малые концентрации градуировочных растворов ртути (менее 0,5 мкг/дм<sup>3</sup>) сохраняются не более одних суток. Уже через день наблюдается снижение величины аналитического сигнала (абсорбции) более чем на 50% (табл. 1). При предварительном выдерживании эталонных растворов в посуде их последующее приготовление в ней увеличивает срок стабильности малых концентраций до трех суток.

Экспериментально было установлено, что при многократном использовании для приготовления эталонов одной

и той же мерной посуды (не менее 2-х раз), предварительно ополоснутой дистиллированной водой, срок хранения эталонов увеличивается. Для концентраций менее 0,5 мкг/л до трех суток, от 0,5 до 1,0 мкг/л до четырех недель, от 5 до 10 мкг/л до двух месяцев.

**Отбор проб.** Пробы мочи в количестве 100 см<sup>3</sup> отбираются в стерильные пластиковые контейнеры (могут храниться при температуре [–20 °С] сроком до 2 лет [12]).

Далее проводится их консервация с помощью концентрированной азотной кислоты: к 100 см<sup>3</sup> пробы добавляется 0,65 см<sup>3</sup> азотной кислоты, а в случае длительного хранения образца (> 6 часов), дополнительно добавляется еще 0,4 см<sup>3</sup> 4%-ного раствора бихромата калия [16].

**Пробоподготовка.** Моча обладает сложным химическим составом: помимо тяжелых металлов в ней содержится большое количество органических веществ, которые оказывают влияние на результаты определения. Утвержденная методика [15] не подразумевает проведение предварительной пробоподготовки мочи и, как следствие, обладает низкими значениями точности и чувствительности. С целью повышения аналитических характеристик методики было решено проводить предварительное разрушение органической составляющей мочи путем кислотного разложения проб [16].

К 50 см<sup>3</sup> пробы добавляется по 2,5 см<sup>3</sup> концентрированных азотной и серной кислот, 5 см<sup>3</sup> 4% бихромата калия. Полученный раствор помещается на водяную баню при комнатной температуре, нагревается до 90 °С и выдерживается в течение 1 часа, далее охлаждается и доводится до объема 100 см<sup>3</sup> фоновым раствором — 0,02%-ным раствором бихромата калия в 0,1 М азотной кислоте.

Для предотвращения вспенивания и заброса пробы в газовый блок, к 10 см<sup>3</sup> приготовленного раствора добавляется 0,1 см<sup>3</sup> амилового спирта. Раствор помещается в реактор атомно-абсорбционного спектрометра с ртутно-гидридной приставкой и проводится анализ согласно руководству по программному обеспечению спектрометра. Количественное определение ртути в растворе проводится методом абсолютной градуировки.

**Градуировка прибора.** Градуировочная характеристика, выражающая зависимость величины аналитического сигнала от массовой концентрации ртути (мкг/дм<sup>3</sup>), устанавливается путем измерения величины абсорбции в стандартных растворах. Градуировочные растворы с концентрацией основного вещества 0,0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0 мкг/дм<sup>3</sup> готовятся на основе фоновых растворов из стандартного образца соли ртути. Для каждого анализируемого раствора проводится три параллельных измерения. По средним арифметическим значениям величины абсорбции в программном обеспечении прибора автоматически строится градуировочная зависимость в координатах: «концентрация ртути в градуировочном стандартном образце ( $C_{\text{ст.обр.}}$ ), мкг/дм<sup>3</sup>» — «величина абсорбции (В), отн. ед.» (рисунок).

При сравнении величины аналитического сигнала в определении ртути в моче путем построения градуировочных зависимостей в представленном диапазоне (рис.) видно, что новая методика обладает значительно более высокой чувствительностью: величина аналитического сигнала выше в 2–2,5 раза [12]. Во многом это происходит благодаря предложенной модификации процедуры пробоподготовки.

Из процедуры анализа были исключены некоторые реактивы, благодаря чему фон холостой пробы снизился с 0,024 мкг/л до <0,0025 мкг/л, при этом чувствительность определения повысилась в 10 раз.

**Контроль результатов измерений.** Контроль правильности результатов анализа содержания ртути в пробах мочи

Таблица 1 / Table 1

**Влияние длительности хранения эталонных растворов ртути в новой посуде на величину аналитического сигнала**  
**The effect of the duration of storage of reference mercury solutions in a new dish on the value of the analytical signal**

| Приготовленная концен-<br>трация ртути, мкг/дм <sup>3</sup> | Аналитический сигнал при указанной длительности хранения, отн. ед. |        | Снижение величины ана-<br>литического сигнала, % |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------|
|                                                             | 0 дней                                                             | 1 день |                                                  |
| 0,2                                                         | 0,036                                                              | 0,0151 | 58,0                                             |
| 0,5                                                         | 0,091                                                              | 0,0467 | 48,7                                             |
| 2,0                                                         | 0,3636                                                             | 0,2415 | 33,6                                             |
| 5,0                                                         | 0,8705                                                             | 0,6057 | 30,4                                             |
| 10,0                                                        | 1,6654                                                             | 1,3206 | 20,7                                             |

Таблица 2 / Table 2

**Результаты измерения относительной погрешности методики методом «введено — найдено»**  
**Results of measurement of the relative error of the method by the “introduced — found” method**

| Концентрация ртути<br>в пробе мочи, мкг/л | Концентрация ртути в про-<br>бе мочи с добавкой, мкг/л | Введено —<br>найденно | Относительная погреш-<br>ность измерений, % | Относительная погрешность из-<br>мерений по МУК 4.1.1898–04, % |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 0,053                                     | 0,272                                                  | 0,20/0,22             | 9,5                                         | –                                                              |
| 0,042                                     | 0,58                                                   | 0,50/0,53             | 6                                           | 40                                                             |
| 0,053                                     | 1,08                                                   | 1,00/1,05             | 2,7                                         | 40                                                             |
| 0,200                                     | 5,288                                                  | 5,00/5,53             | 1,8                                         | 25                                                             |
| 0,200                                     | 10,49                                                  | 10,0/10,3             | 2,9                                         | 20                                                             |

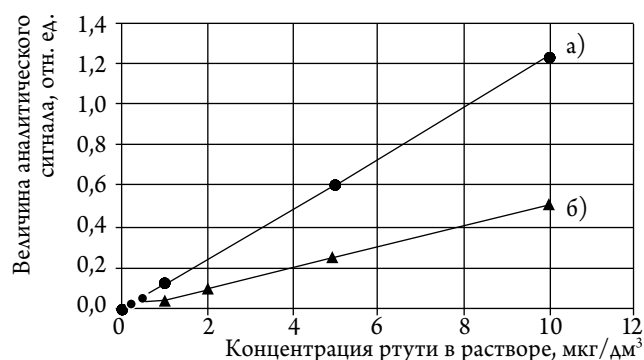
Таблица 3 / Table 3

**Результаты измерений относительной погрешности методики методом стандартного образца**  
**The results of measurements of the relative error of the method by the standard sample method**

| Аттестованное значе-<br>ние, мкг/л | Найденное значение,<br>мкг/л | Относительная погрешность измерений, % |                    |
|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------|
|                                    |                              | По новой методике                      | По МУК 4.1.1898–04 |
| 0,1                                | 0,087                        | 13                                     | –                  |
| 0,2                                | 0,179                        | 10                                     | –                  |
| 0,5                                | 0,512                        | 2,4                                    | 40                 |
| 1,0                                | 0,935                        | 6,5                                    | 40                 |
| 2,0                                | 1,812                        | 9,4                                    | 40                 |
| 5,0                                | 4,680                        | 6,4                                    | 25                 |
| 10,0                               | 10,139                       | 1,4                                    | 20                 |

проводился методом «введено-найденно» и методом стан-  
дартного образца.

Контроль первым методом: пробу мочи делили на две  
части, в одну из них вносили определенный объем раствора  
стандартного образца с известной концентрацией. Далее про-  
водился анализ согласно разработанной методике, результаты



**Рисунок. Градуировочная зависимость величины аналитического сигнала от концентрации ртути в растворе, построенная в соответствии с вновь разработанной (а) и утвержденной методикой (б)**

**Figure. Calibration dependence of the value of the analytical signal on the concentration of mercury in solution, constructed in accordance with the newly developed (a) and approved methodology (b)**

определения сравнивались с расчетными концентрациями.  
Полученные данные представлены в таблице 2, из которой  
видно, что относительная погрешность разработанной ме-  
тодики в несколько раз ниже по сравнению с существующей.

Методом стандартного образца путем проведения всех  
аналитических процедур оценивалось содержание ртути  
в растворах с аттестованным значением концентраций. По-  
лученные результаты представлены в таблице 3, из которой  
видно, что относительная погрешность определения разра-  
ботанной методики гораздо ниже утвержденной.

**Апробация методики.** Разработанная методика бы-  
ла апробирована на базе консультативной поликлиники  
ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский инсти-  
тут гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора. В рам-  
ках ежегодного медицинского профилактического осмотра  
обследованы 58 человек, работников металлургического за-  
вода г. Выкса Нижегородской области. Установлено, что у  
всех обследованных уровень ртути в моче находится в диа-  
пазоне допустимых концентраций (до 10 мкг/л). При этом  
у 34,45% обследуемых концентрация ртути в моче состави-  
ла <0,025 мкг/л (офисные работники); у 51,72 % — от 0,05  
до 0,5 мкг/л (сортировщики-сдатчики металла, операторы  
поста управления, начальники участков); у 10,34% — от  
0,5 до 1,2 мкг/л (электросварщики, работники по зачистке  
концов труб); у двух работников цеха антикоррозионного  
покрытия содержание ртути в моче достигало 2,65 и 7,45

мкг/л, что, возможно, обусловлено попаданием ртути в организм из краски при несоблюдении мер безопасности.

Полученные результаты показывают, что более чем у половины обследуемых содержание ртути в моче находится в низком диапазоне концентраций, что невозможно выявить с достаточной степенью точности. Между тем выявление минимальных количеств ртути в моче является важным не только при обследовании рабочих контактировавших с ртутью, но и для людей, ранее контактировавших с ртутью, в отдаленном послеконтактном периоде с целью назначения адекватного комплекса лечебных мероприятий и, что очень важно, при диспансеризации беременных женщин и детей раннего возраста, проживающих в экологически неблагоприятных зонах.

#### Выводы:

1. Разработанная методика атомно-абсорбционного определения ртути в моче методом холодного пара обладает высокой чувствительностью и точностью (0,05–10 мкг/л при погрешности 3–15%, в зависимости от концентрации), и не требует серьезных финансовых затрат.

2. Предлагаемая методика позволит определять фоновые содержания ртути в моче, что очень важно при проведении рутинных анализов с целью своевременного выявления степени интоксикации у лиц, находящихся в контакте с ртутью и ее соединениями, при диспансеризации работников, ранее контактировавших с ртутью, а также населения, проживающего в экологически неблагоприятных регионах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трахтенберг И.М., Лубянова И.П. Ртуть и ее опасность — проблема давняя и новая. *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*. 2016; 1: 13–23.
2. Русанова Д.В. и др. Состояние афферентных проводящих путей у рабочих, контактировавших со ртутью, и лиц с хронической ртутной интоксикацией. *Экология человека*. 2010; 06: 12–5.
3. Константинова Т.Н. и др. Современные подходы к классификации профессиональной интоксикации ртутью. *Экология человека*. 2009; 12: 22–7.
4. Шинетова Л.Е., Бекеева С.А. Современные представления о влиянии различных форм ртути на организм. *Вестник КазНМУ*. 2017; 1: 370–5.
5. Скальный А.В., Рудаков И.А. *Биоэлементы в медицине*. М.: Ониск 21 век, Мир; 2004.
6. Кудрин А.В., Громова О.А. *Микроэлементы в неврологии*. М.: ГЭОТАР-Медиа: Наука; 2006.
7. *Токсикологическая химия. Метаболизм и анализ токсикантов*. М.: ГОЭТАР-Медиа; 2008.
8. Хомик Л.И., Таловская В.С. Экспресс-определение ртути в биоматериалах человека. *ДМЖ*. 2002; 3: 75–7.
9. Шувалова О.П., Иванова Е.С., Комов В.Т. Влияние накопления ртути на состояние здоровья женщин репродуктивного возраста. *ЗНиСО*. 2018; 11(308): 36–9.
10. Краснопеева И.Ю. Распространение ртути и ее соединений в окружающей среде и влияние на организм человека. *Сиб. мед. ж-л*. 2005; 1: 7–12.
11. Ильченко И.Н. Обзор исследований по оценке воздействия ртути на население в постсоветских странах с использованием данных биомониторинга человека. *Здравоохранение РФ*. 2015; 59(1): 48–53.
12. Уланова Т.С. и др. Методические и практические аспекты определения общей ртути в образцах цельной крови, мочи и волос методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. *Анализ риска здоровью*. 2018; 2: 119–26.
13. Иваненко Н.Б. и др. Определение токсических и фоновых содержаний ртути в крови атомно-абсорбционным мето-

дом с электротермической атомизацией и зеемановской модулирующей поляризационной коррекцией фона. *Вестник СПбГУ*. 2010; Сер. 4.; вып. 4: 97–104.

14. Пупышев А.А. *Атомно-абсорбционный спектральный анализ*. М.: Техносфера; 2009.

15. Методические указания контроля «Атомно-абсорбционное измерение массовой концентрации ртути в моче» МУК 4.1.1896–4.1.1900–04. М.: Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации; 2004.

16. «Методика измерения массовой концентрации ртути в питьевых, поверхностных и сточных водах методом беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрии» ПНДФ 14.1:2:4.20–95. М.: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; 2011.

#### REFERENCES

1. Trahtenberg I.M., Lubyanova I.P. Mercury and its danger are an old and new problem. *Suchasni problemy toksykologii, xarchovoi ta khimichnoi bezpeky*. 2016; 1: 13–23.
2. Rusanova D. V. et al. Condition of afferent pathways in workers exposed to mercury and persons with chronic mercury intoxication. *Ekologiya cheloveka*. 2010; 06: 12–5 (in Russian).
3. Konstantinova T.N. et al. Modern approaches to the classification of occupational mercury intoxication. *Ekologiya cheloveka*. 2009; 12: 22–7 (in Russian).
4. Shinetova L.E., Bekeeva S.A. Modern ideas about the effects of various forms of mercury on the body. *Vestnik KazNMU*. 2017; 1: 370–5 (in Russian).
5. Skal'nyj A.V., Rudakov I.A. *Bioelements in medicine*. М.: Oniks 21 vek, Mir; 2004 (in Russian).
6. Kudrin A.V., Gromova O.A. *Trace elements in neurology*. М.: GEOTAR-Media: Nauka; 2006 (in Russian).
7. *Toxicological chemistry. Metabolism and analysis of toxicants*. М.: GOETAR-Media; 2008 (in Russian).
8. Homik L.I. et al. Rapid determination of mercury in human biomaterials. *Dal'nevostochnyj medicinskij zhurnal*. 2002; 3: 75–7 (in Russian).
9. Shuvalova O.P., Ivanova E.S., Komov V.T. Impact of mercury accumulation on the health status of women of reproductive age. *ZNiSO*. 2018; 11(308): 36–9 (in Russian).
10. Krasnopeeva I.Yu. Distribution of mercury and its compounds in the environment and the impact on the human body. *Sibirskij medicinskij zhurnal*. 2005; 1: 7–12 (in Russian).
11. Il'chenko I.N. Review of studies assessing human exposure to mercury in post-Soviet countries using human biomonitoring data. *Zdravoohranenie RF*. 2015; 59(1): 48–53 (in Russian).
12. Ulanova T.S., Stenno E.V., Vejzman G.A., Nedoshitova A.V. Methodical and practical aspects of determining total mercury in samples of whole blood, urine and hair by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analiz riska zdorov'yu*. 2018; 2: 119–26 (in Russian).
13. Ivanenko N.B. et al. Determination of toxic and background mercury levels in blood by atomic absorption with electrothermal atomization and Zeeman modulation by polarization background correction. *Vestnik SPbGU*. 2010; 4(4): 97–104 (in Russian).
14. Pupyshv A.A. *Atomic absorption spectral analysis*. М.: Tekhnosfera; 2009 (in Russian).
15. Metodicheskie ukazaniya kontrolya «Atomic absorption measurement of mercury mass concentration in urine» МУК 4.1.1896–4.1.1900–04. М.: Gosudarstvennoe sanitarno-epidemiologicheskoe normirovanie Rossijskoj Federacii; 2004 (in Russian).
16. «Methods for measuring the mass concentration of mercury in drinking, surface and waste waters using flameless atomic absorption spectrometry» PNDF 14.1:2:4.20–95. М.: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya; 2011.

Дата поступления / Received: 03.07.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 11.10.2019

Дата публикации / Published: 28.10.2019