

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РТУТИ В ВОЗДУХЕ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

### ВВЕДЕНИЕ И ЗАДАЧИ

Одной из задач Проекта утилизации медицинских отходов ГЭФ ПРООН является защита здоровья населения и окружающей среды от воздействия выбросов ртути посредством демонстрации и распространения надлежащего управления отходами, содержащими ртуть, и использования аналогов, не содержащих ртути.

Целью настоящего исследования является сбор данных для решения следующих задач: (1) оценка потенциального воздействия на здоровье работников и пациентов в различных помещениях медицинских учреждений; (2) выявление зон, в которых содержание ртути в окружающем воздухе превышает фоновый уровень для медицинских учреждений, применяющих ртутные приборы; (3) оценка остаточного содержания ртути в окружающем воздухе в учреждениях, которые отказались от использования ртутных приборов.

Данные, полученные из различных стран, участвующих в проекте, могут быть использованы для информирования медицинских работников, определения приоритетов в отделениях и службах при разработке планов отказа от использования ртути в медицинских учреждениях, а также для определения отделений и служб, в которых может потребоваться проведение мониторинга после отказа от использования ртутных приборов.

### СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Научным комитетом по Стандартам профессионального воздействия для ртути в элементарной форме и неорганических бивалентных соединений ртути (SCOEL/SUM/84, Европейская комиссия, май 2007 года) установлена рекомендуемая норма профессионального воздействия на уровне 0,02 мг паров ртути на м<sup>3</sup> воздуха. Предельное пороговое значение (уровень ежедневного воздействия, превышение которого может привести к существенному негативному воздействию на здоровье сотрудника), установленная Американской конференцией государственных инспекторов по промышленной гигиене, составляет в среднем 0,025 мг на м<sup>3</sup> при нормальном 8-часовом рабочем дне и 40-часовой рабочей неделе; Национальный институт по безопасности и гигиене труда установил рекомендованный предельный уровень воздействия (РПВ) паров ртути, равный 0,05 мг на м<sup>3</sup>. Это значение является средневзвешенной по времени концентрацией (СВК) при 10-часовом рабочем дне и 40-часовой рабочей неделе. Еще один стандарт – допустимый предельный уровень воздействия (ДУВ) паров ртути – это пороговое значение, равное 0,1 мг на м<sup>3</sup> воздуха в соответствии со стандартами Администрации профессиональной

безопасности и здоровья США. Для целей данного исследования концентрация паров ртути в воздухе сравнивается с пределом в 0,02 мг на м<sup>3</sup> (20 мкг на м<sup>3</sup>).

На уровень содержания ртути в воздухе медицинских учреждений, в которых используются ртутные приборы или содержащие ртуть вещества, оказывает влияние ряд факторов. К ключевым факторам относятся следующие:

- Источник утечки ртути (т.е. объем разлива ртути и/или количество ртути, используемой при различных процедурах, например, при смешивании стоматологической амальгамы, а также частота разливов и/или проведения процедур с использованием ртути);
- Скорость испарения, которая, в свою очередь, зависит от температуры окружающего воздуха, скорости движения воздушных потоков, площади поверхности и количества капель ртути (необходимо принять во внимание, что применительно к площади поверхности и количеству капель ртути имеет значение тип поверхности, на которой произошел разлив ртути или использовалась ртуть; к примеру, в случае ковровых покрытий или деревянных полов капли ртути удерживаются, соответственно, в ворсе или в трещинах);
- Скорость удаления или разбавления ртути, которая зависит от таких условий, как размер помещения, тип вентиляции, кратность воздухообмена в помещении в час и т.д.;
- Производились ли в учреждении эффективные мероприятия по ликвидации разлива или использования ртути; а также
- Период времени, прошедший с предыдущего разлива ртути или с последней процедуры с применением ртути.

Поскольку учет всех названных факторов представляет собой определенную сложность, данное исследование будет сфокусировано на следующих общих факторах: тип ртутных приборов, содержащих ртуть веществ или процедур, проводимых с применением ртути в таких помещениях, тип вентиляции; давность предыдущего разлива или использования ртути в помещении.

В силу того, что люминесцентные световые приборы и компактные люминесцентные лампы широко используются в медицинских учреждениях, они не будут рассматриваться в качестве существенного источника присутствия ртути в рамках данного исследования. Однако возможно проведение замеров в зонах хранения старых или разбитых люминесцентных ламп.

## МЕТОДОЛОГИЯ

### 1.0 Оборудование

---

В исследовании в рамках проекта ГЭФ ПРООН используется прибор для измерения концентрации паров ртути Jerome® J405 (Arizona Instruments LLC, Чандлер, штат Аризона, США). Прибор Jerome® J405 представляет собой анализатор воздуха с возможностью замера концентрации паров ртути в диапазоне от 0,5 до 999 микрограммов на кубический метр ( $\text{мкг/м}^3$  Hg). Принцип действия прибора основан на способности ртути изменять сопротивление тонкой золотой пленки в результате контакта с парами ртути, на основании чего производится расчет концентрации паров ртути в пробе.

Продолжительность работы анализатора J405 составляет до 12 часов при питании от встроенного аккумулятора; также возможно питание от сети переменного тока с напряжением 120–240 В. Калибровка анализатора J405 была проведена 21 января 2011 года с применением эталонов, полученных от NIST; подтвержденная точность составила 5% (при  $25 \text{ мкг/м}^3$  Hg), относительное стандартное отклонение – 0,78%. Технические характеристики прибора приведены в Приложении А.

*ПРИМЕЧАНИЕ: Оборудование необходимо вернуть команде Глобального проекта для повторной калибровки до 20 января 2011 года.*

## 2.0 Подготовка

- а) Выясните средние значения роста взрослых мужчин и женщин в стране проведения исследования и рассчитайте среднее значение. Вычтите 15 см для получения средней высоты расположения носа от уровня пола. Полученное значение будет соответствовать зоне дыхания. В таблице ниже приведены некоторые значения в сантиметрах.<sup>1</sup>

СТРАНА	Средний рост мужчины	Средний рост женщины	Средняя высота расположения носа
Аргентина	174,46	161,03	153 см
Индия	165,3	165,3	150 см
Филиппины	163,5	151,8	143 см
Вьетнам	167	156	146 см

- б) Определите среднюю высоту расположения носа от уровня пола по отношению к собственному росту проверяющего. При взятии проб проверяющий должен держать прибор J405 таким образом, чтобы его впускной канал всегда находился приблизительно на средней высоте расположения носа от уровня пола.
- с) Выясните и запишите основную информацию о медицинском учреждении.

<sup>1</sup> "Таблица значений роста мужчин и женщин в различных странах", *Disabled World*, 13 октября, 2008; источник: <http://www.disabled-world.com/artman/publish/height-chart.shtml>

- d) Составьте перечень отделений или объектов для проведения испытаний. Разработайте эффективную схему маршрута, которая позволит осуществить замеры на объектах в минимальные сроки. Там, где это применимо и осуществимо, в перечень должны быть включены следующие объекты:
- Место для получения данных о фоновом уровне: зона за пределами медицинского учреждения вдали от потенциальных источников ртути, например, сад у здания медицинского учреждения, жилая зона поблизости от него или место на удалении не менее 10 метров от входа в учреждение
  - Стоматологическое отделение, в особенности помещения, где происходит смешивание амальгамы
  - Палата для детей
  - Палаты для мужчин и женщин
  - Кабинеты медсестры
  - Биомедицинская лаборатория
  - Отделение экстренной медицинской помощи
  - Амбулаторное отделение
  - Инженерное и техническое управление, где может проводиться ремонт или калибровка ртутных сфигмоманометров
  - Зона хранения медицинских отходов
  - Зона хранения ртутных приборов и люминесцентных ламп
  - Зона вокруг действующей установки для сжигания медицинских отходов
  - Фармацевтическое отделение
  - Зона хранения чистящих растворов и дезинфицирующих средств
- e) Сделайте копии бланка протокола из Приложения В.
- f) Регенерируйте золотой датчик анализатора Jerome® J405 в соответствии с инструкциями производителя в первый день перед взятием проб и по окончании каждого дня взятия проб. Регенерация занимает около 45 минут.
- g) Заблаговременно зарядите аккумуляторы, чтобы иметь возможность пользоваться анализатором Jerome® J405 как портативным прибором. Полный цикл зарядки занимает около 3 часов и обеспечивает работу прибора J405 продолжительностью до 12 часов.

## **2.0 Процедуры в день взятия проб**

- a) Включите оборудование и выполните начальные шаги для проверки правильности работы прибора в соответствии с инструкциями производителя.
- b) Оставьте оборудование прогреваться на 5 минут, вставив фильтр для очищенного воздуха во впускной канал (см. инструкции производителя) для балансировки прибора перед взятием пробы или в случае отключения оборудования по прошествии 20 минут бездействия.
-

- c) Возьмите три фоновые пробы и запишите данные о них (все три пробы могут быть взяты в одном и том же месте или в разных местах за пределами медицинского учреждения).
- d) Занесите в прилагаемый бланк протокола информацию по каждому объекту.
- e) Выберите три точки взятия проб для проведения замера в каждом из объектов. Если сотрудники учреждения могут определить места недавних разливов или обычного использования ртути, для взятия пробы следует выбрать именно их. Если места прошлых разливов неизвестны, следует выбирать следующие три точки отбора проб по каждому из объектов: (1) приблизительный центр помещения, (2) рабочая зона вдали от окон или выходных клапанов системы отопления или кондиционирования воздуха и (3) рабочая зона вблизи окон или таких клапанов. Если на объекте нет окон или таких клапанов, выбирать следует приблизительный центр зоны и две рабочих зоны на противоположных сторонах от центра. Если объект расположен на открытом воздухе, следует выбирать точку, максимально приближенную к тому месту, где высока вероятность обнаружения ртути, и две других произвольных точки на данном объекте.
- f) После того как будут выбраны все три местоположения, сделайте по одному замеру в каждой из трех выбранных точек взятия проб на средней высоте расположения носа над уровнем пола и запишите все три полученных значения. Запишите значения в бланк протокола.
- g) Регенерируйте датчик в конце дня взятия проб.

### **3.0 Сбор данных**

- a) Соберите все данные из протоколов и занесите их в документ Excel.
- b) Предоставьте данные команде Глобального проекта.

### **4.0 Техническое обслуживание оборудования**

- a) Следуйте инструкциям производителя по профилактическому техобслуживанию, которое в т.ч. предусматривает замену малого всасывающего фильтра (т.н. фриттового фильтра) после недели использования, замену фильтрующего материала Filter-AG после примерно 500 проб или шести месяцев эксплуатации (в зависимости от того, что наступит раньше), а также замену внутренних трубок и фильтров по мере необходимости.

д-р Джордж Эммануэль (PhD)  
Главный технический советник  
Проект ГЭФ ПРООН  
Обновленная версия: август 2014 г.  
При участии Э. Уоррена

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Технические характеристики прибора Jerome® J405

Рабочий диапазон*	от 0,5 мкг/м <sup>3</sup> до 999 мкг/м <sup>3</sup> (0,0005–0,999 мг/м <sup>3</sup> )	
Разрешение	0,01 мкг/м <sup>3</sup> Hg	
Быстродействие в режиме взятия проб	12 секунд	
Быстродействие в режиме анализа	2 секунды	
Скорость потока воздуха	750 ± 50 куб. см/мин (0,75 ± 0,05 л/мин)	
Требования к источнику питания	12 В пост. тока для прибора (от встроенной батареи, сети переменного тока/зарядного устройства, внешнего комплекта батарей или автомобильного адаптера питания) 100–240 В перем. тока, 47–63 Гц, 3,2 А для сети переменного тока/зарядного устройства	
Предохранитель	Предохранитель с автоматическим сбросом	
Встроенный комплект батарей	Никель-металл-гидридные (NiMH) аккумуляторы	
Рабочая среда	от 0 °С до 45 °С, без образования конденсата, невзрывоопасная	
Корпус	Алюминий, с порошковым покрытием	
Габариты	11 x 6 x 6,5 дюймов (28 x 16 x 17 см) (Д x Г x В)	
Вес	5,3 фунта (2,4 кг)	
Цифровой дисплей	Жидкокристаллический (ЖК) дисплей с диагональю 3 ½ дюйма (9 см)	
Объем памяти	20 000 проб	
Устройство вывода	Цифровое: Последовательный USB-порт на ПК, принтер или USB-флеш-накопитель Аналоговое: Токовый шлейф 4–20 мА (требует внешнего источника питания) Точность вывода до 0,3%	
Сертификация	TUV 61010, CE	
Точность		
Калибровка	Точность точки**	Точность (относительное стандартное отклонение)
1,0 мкг/м <sup>3</sup>	± 10%	15%
25 мкг/м <sup>3</sup>	± 5%	3%
100+ мкг/м <sup>3</sup>	± 5%	3%

\*Анализатор J405 записывает и отображает значения проб менее 0,5 мкг/м<sup>3</sup> как 0,00 мкг/м<sup>3</sup>. Значения свыше 999 мкг/м<sup>3</sup> записываются, но будут отображены в виде сообщения "Высокая концентрация".

\*\*После замены фильтра AG точность при 1,0 мкг/м<sup>3</sup> может измениться с ±10% до ±20%, в то время как точность при 25 мкг/м<sup>3</sup> и 100 мкг/м<sup>3</sup> может измениться с ±5% до ±7%. Относительное стандартное отклонение остается без изменений.

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**Бланк протокола**

ФИО проверяющего \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Наименование медицинского учреждения  
\_\_\_\_\_

Место \_\_\_\_\_

Количество коек \_\_\_\_\_ Средняя заполняемость  
\_\_\_\_\_

Количество амбулаторных пациентов в день  
\_\_\_\_\_

Тип заведения (больница, клиника, сельский медицинский пункт и т.п.)  
\_\_\_\_\_

Классификация:  Городское учреждение  Сельское учреждение  Другое  
\_\_\_\_\_

Уровень учреждения (первичная медицинская помощь, медицинский центр  
высокоспециализированной помощи и т.п.) \_\_\_\_\_

Описание оказываемых услуг (педиатрия, родовспоможение и т.п.)  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Замечания  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Фоновые значения содержания ртути:

\_\_\_\_\_ мкг/м<sup>3</sup> Описание расположения \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ мкг/м<sup>3</sup> Описание расположения \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ мкг/м<sup>3</sup>    Описание расположения \_\_\_\_\_



Описание объекта (палата для детей) \_\_\_\_\_

Использовались ли когда-либо ртутные устройства в указанном месте?  ДА  НЕТ

Если ДА, какие именно ртутные устройства использовались (отметить все подобные устройства):

Термометры  Сфигмоманометры  Другие (укажите) \_\_\_\_\_

Если ДА, когда ртутные устройства в указанном месте использовались в последний раз?  
\_\_\_\_\_ месяца (ев) назад

Проводились ли когда-либо в указанном месте процедуры с применением ртути?  ДА  НЕТ

Если ДА, опишите их  
\_\_\_\_\_

Если ДА, когда процедуры с применением ртути проводились в указанном месте в последний раз? \_\_\_\_\_ месяца (ев) назад

Тип вентиляции (отметьте только один вариант):

- Естественная вентиляция, окна большую часть времени открыты и обеспечивают проникновение свежего воздуха
- Естественная вентиляция, окон нет или большую часть времени остаются закрытыми
- Централизованная система кондиционирования воздуха и/или централизованная система отопления
- Отдельный кондиционер воздуха или небольшая установка для кондиционирования воздуха
- Местная вытяжная вентиляция, механический вытяжной вентилятор, потолочный вентилятор, настольный вентилятор или напольный вентилятор при наличии или отсутствии окон
- Другое (укажите)  
\_\_\_\_\_

Значения содержания ртути в воздухе:

(1) \_\_\_\_\_ мкг/м<sup>3</sup> Описание расположения  
\_\_\_\_\_

(2) \_\_\_\_\_ мкг/м<sup>3</sup> Описание расположения  
\_\_\_\_\_

(3) \_\_\_\_\_ мкг/м<sup>3</sup> Описание расположения  
\_\_\_\_\_

## ПРИЛОЖЕНИЕ С Краткий обзор литературы<sup>2</sup>

### СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

Большинство исследований по этой теме, найденных в данном обзоре литературы, касаются концентрации ртути в стоматологических учреждениях.

Стоунхаус и Ньюмен (2001) изучили выделение паров ртути из стоматологического отсасывателя, который выбрасывает отходящий воздух через свое основание непосредственно в воздух стоматологического кабинета. Концентрации паров ртути в воздухе измерялись в зоне дыхания стоматолога во время непрерывной работы отсасывателя. Через 20 минут постоянной работы отсасывателя в зоне дыхания стоматолога была зафиксирована концентрация паров ртути, в десять раз превышающая предел воздействия на рабочем месте (25 мкг/м<sup>3</sup>).

Тезел *и др.* (2001) провели исследование по определению концентрации ртути в крови студентов-стоматологов и клинических сотрудников-инструкторов на стоматологическом факультете Эгейского университета, Турция, где в качестве восстановительного материала использовалась амальгама. Был зафиксирован статистически значимый рост концентрации ртути в плазме крови в показателях измерений, проведенных во всех группах в конце академического года. Рост концентрации ртути объясняется фоновым воздействием утечек ртути и остатков амальгамы на полу.

Исследование, проведенное в 2003 году Игеяву *и др.* в действующей стоматологической клинике за десять дней на протяжении четырех недель в Соединенных Штатах, выявило концентрации элементарной ртути в зоне дыхания в диапазоне от необнаруживаемых до 0,0034 мг/м<sup>3</sup>. Самая высокая из выявленных концентрации составила 0,199 мг/м<sup>3</sup> в амальгамном колодце. Самая высокая концентрация ртути, полученная в зоне дыхания сотрудников клиники, составила 0,017 мг/м<sup>3</sup> – в зоне дыхания ассистента стоматолога во время процедуры восстановления зуба. Категория должности "ассистент стоматолога" признана "худшим" сценарием с точки зрения уровня воздействия элементарной ртути вследствие высокого потенциала возникновения паров ртути во время процесса подготовки амальгамы.

Исследование, охватившее 180 стоматологов в Западной Шотландии, было проведено для определения воздействия на них ртути в процессе работы и ее влияния на здоровье и когнитивную функцию (Ritchie et al. 2004). Было установлено, что концентрация ртути в моче стоматологов в среднем более чем в четыре раза превышает контрольное значение этого показателя. В ста двадцати двух (67,8%) из 180 исследованных операций значения попадания ртути в окружающую среду в одном или более аспектах превышали допустимые значения Стандарта профессионального воздействия (СПВ) Исполнительного комитета по вопросам охраны труда и безопасности для паров ртути 25 мкг/м<sup>3</sup> 8 часов в день, 40 часов в неделю. В большинстве этих операций были обнаружены высокие концентрации ртути в области фартука и вокруг основания стоматологического кресла. В 45 операциях (25%) концентрация в зоне дыхания стоматологического персонала превышала СПВ.

Концентрации ртути в виде паров или аэрозольных частиц (PM10) была измерена в Лаборатории стоматологического моделирования (DSL) и Стоматологической клинике (DC)

---

<sup>2</sup> Составила Эмили Уоррен

на факультете стоматологии Пуэрториканского университета. Концентрация паров ртути составляла от 1,1 до 3,3 мг/м<sup>3</sup> в DSL; и от 13,6 до 2,7 мкг/м<sup>3</sup> в DC. Концентрации ртути, связанные с PM10, были низкими; однако концентрация паров ртути была в несколько раз выше, чем рекомендовано OSHA в DSL (допустимый предельный уровень воздействия – 100 мкг/м<sup>3</sup>).

Хвая и др. из Института политики устойчивого развития в Пакистане представил хороший обзор концентрации ртути в воздухе в 42 стоматологических учреждениях в 17 странах, включая собственные исследования в стоматологических учреждениях в пяти крупнейших городах Пакистана. В большинстве случаев концентрация паров ртути в помещении превышала рекомендованные допустимые пределы.

## БОЛЬНИЦЫ

Обзор литературы выявил лишь три исследования, связанных с концентрацией ртути в больницах. Самое раннее из них было проведено в 1979 году (Choi-Lao *et al.*, 1979) и для изучения ртути в воздухе в двух больницах Оттавы, Канада. Хотя концентрации паров ртути были ниже предельно допустимой концентрации, все проанализированные образцы показали присутствие поддающегося измерению количества ртути. Основными источниками загрязнения являются разбитые термометры и сфигмоманометры.

Пропкопович и Мнишек (2005) провели исследование для измерения присутствия паров ртути в семи местных больницах в Польше, а также в жилом помещении. Результаты показали присутствие источников паров ртути в исследованных помещениях больниц, однако в большинстве случаев концентрация ртути не превышала 1 мкг/м<sup>3</sup> (допустимая в Польше концентрация для жилого помещения). Однако в некоторых помещениях больницы была обнаружена повышенная концентрация паров ртути, составившая до 13,9 мкг/м<sup>3</sup>. В осенний период была зафиксирована более высокая концентрация паров ртути, чем летом.

В более позднем исследовании, проведенном Toxics Link (2007) в Индии, было установлено, что каждый месяц в больнице на 300-500 коек разбиваются почти 70 термометров. Исследование было проведено двумя больницами в Дели. Во всех изученных учреждениях было обнаружено присутствие паров ртути разной концентрации (от 1,09 до 3,11 мкг/м<sup>3</sup>). Стоматологическое отделение больницы также имело очень высокую концентрацию ртути (3,11 мкг/м<sup>3</sup>). Концентрация была высокой также в родильном и общем отделениях, создавая существенный риск для новорожденных и пациентов.

## СПРАВОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Adriana, G., Gilberto Hanke, Augusto Elias-Boneta, and Braulio Jiménez-Velez. A pilot study to determine mercury exposure through vapor and bound to PM10 in a dental school environment. *Toxicology & Industrial Health*, 2007, 23(2), 103-113.

Choi-Lao, Agnes T. H., George Corte, Gerald Dowd, Robert C. Lao. Mercury vapor as a contaminant of hospital environment. *The Science of The Total Environment*, April 1979, 11(3), 287-292.

Ihejiawu, J. C., Dale J. Stephenson, Michele Johnson, Jeff Throckmorton, George L. White Jr., Dean R. Lillquist. Evaluation of mercury vapor exposure while preparing dental fillings with pre-encapsulated amalgams. National Occupational Research Agenda Proceedings, 2003. Salt Lake City, Utah.

Khwaja, Mahmood Ahmad, M.S. Abbasi, F. Mehmood and S. Jahangir. Study of high levels indoor air mercury contamination from mercury amalgam use in dentistry. *Science Technology and Development*, 2014, 33(2), 94-106.

Pastore, P., Ratna Singh, and Dr. Nidhi Jain. Mercury in Hospital Indoor Air: Staff and Patients at Risk, Toxics Link, New Delhi, India, January 2007.

Prokopowicz, Adam and Wojciech Mniszek. Mercury vapor determination in hospitals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 104: 147-154.

Ritchie, K. A., F. J. T. Burke, W. H. Gilmour, E. B. Macdonald, I. M. Dale, R. M. Hamilton, D. A. McGowan, V. Binnie, D. Collingtonand, and R. Hammersley. Mercury vapour levels in dental practices and body mercury levels of dentists and controls. *British Dental Journal*, November 27 2004, 197(10), 625-632.

Stonehouse, C. A. and A. P. Newman. Mercury vapour release from a dental Aspirator. *British Dental Journal*, November 26 2001, 190(10), 558-560.

Tezel, H., O. S. Ertas, F. Ozata, C. Erakin, and A. Kayali. Blood mercury levels of dental students and dentists at a dental school. *British Dental Journal*, October 2001, 191(8), 449-452.