

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ В ВОЛОСАХ ЖИТЕЛЕЙ ПОСЕЛКА АКТАШ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

© 2022 М. А. Густайтис , И. Н. Мягкая 

ФГБУН Институт геологии и минералогии СО РАН, проспект Академика Коптюга, 3,
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: gustaitis@igm.nsc.ru

Цель исследования: выявить особенности распределения ртути в волосах жителей поселка Акташ, расположенного в пределах природной ртутной аномалии (Курайская ртутная зона) и в ореоле действия ртутного месторождения со складированными ртутьсодержащими отходами.

Место и время проведения. Отбор проб воздуха, почвы и волос проведен в 2019 году в поселке Акташ (Улаганский район, Республика Алтай), являющегося частью Курайской ртутной зоны.

Методы. Содержание ртути в исследуемых образцах определено методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с применением анализатора ртути RA915M.

Основные результаты. Установлено повышенное содержание ртути в атмосферном (до 20 нг/м³) и почвенном воздухе (до 54 нг/м³). Среднее содержание ртути в волосах жителей поселка Акташ составило 0,23 мкг/г, что значительно ниже допустимой концентрации. Отмечено повышенное содержание ртути в волосах коренного населения поселка; выявлены различия по гендерному признаку в возрастной группе старше 55 лет: у мужчин 0,30, у женщин – 0,26 мкг/г. Наиболее высокое содержание ртути отмечено у бывших работников горнодобывающего предприятия (до 2,08 мкг/г). Установлено, что ртуть поступает в организм жителей поселка, в большей степени, при вдыхании загрязнённого воздуха, а также с употреблением продуктов питания, содержащих ртуть (рыба, грибы) и в результате курения. Однако не исключена и адсорбция данного элемента на поверхности волос из атмосферы.

Ключевые слова: Курайская ртутная зона; ртуть; волосы; почва; воздух

Цитирование: Густайтис М.А., Мягкая И.Н. Особенности распределения ртути в волосах жителей поселка Акташ (Республика Алтай) // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 1. e165. DOI: [10.31251/pos.v5i1.165](https://doi.org/10.31251/pos.v5i1.165)

ВВЕДЕНИЕ

Содержание элементов в организме человека находится в прямой зависимости от их концентрации в различных компонентах окружающей среды (почвообразующие породы, почвы, природные воды, атмосферный воздух) (Ковальский, 1977; Башкин, Касимов 2004; Скальный, 2004). Геосистемы, подвергшиеся интенсивному антропогенному воздействию, показывают прирост содержания элементов в различных средах; при этом на первое место выступают элементы с низкими кларками (Сагет и др., 1990). Одним из таких элементов является ртуть (Hg), которая не входит в группу жизненно необходимых элементов, а ее роль в физиологических процессах остается неясной. Однако элемент является токсичным для человека и животных (Таций, 2013). Воздействие ртути на человеческий организм вызывает неврологические, нефрологические, сердечные и репродуктивные расстройства, а также генетические мутации (De Almeida et al., 2019). Наиболее распространенными соединениями ртути в природе являются неорганические соединения Hg (II), а наибольшую токсичность и опасность для живых организмов представляют органические производные ртути, а именно метилртуть (ВОЗ. Метилртуть ..., 1993).

Основными источниками поступления ртути в организм человека являются воздух, вода, почва и пища. Преобладающей формой нахождения ртути в атмосфере является элементарная ртуть (Hg⁰). В природных водах ее химические формы образованы неорганическими солями и различными комплексными соединениями Hg (II), а так же Hg⁰ и CH₃Hg⁺. Для почвы характерны соединения Hg (II), в том числе HgS, а также органические производные ртути (Carmona et al., 2013). Основным источником органической ртути (метилртути) являются рыба и морепродукты. В растениях ртуть может присутствовать как в органической, так и в неорганической формах. Основная доля ртути, содержащаяся в наземных частях растений, поступает из атмосферы, а из почвы через корни попадает лишь малая ее часть (менее 5%) (Stamenkovic, Gustin, 2009). Растительная продукция широко используются как в пищевых, так и в лечебных целях

(фитолечение), при этом содержание ртути в растениях может быть весьма высоким. Например, на территории Урского хвостохранилища, которое сложено отходами обогащения высокосульфидных руд Ново-Урского месторождения в пределах Алтае-Саянской ртутной провинции, установлено, что в наземной части лабазника вязолистного (*Filipéndula ulmária*) содержится в среднем 0,08, в листьях иван-чая (*Chamaenérion angustifolium*) – до 1,7 мкг/г (Рихванов и др., 2017). Другим источником попадания ртути в организм человека могут быть грибы. Так, содержание ртути в грибах, собранных на удалении (1–2 км) от отходов Урского хвостохранилища выше ПДК (0,05 мкг/г) в 20 раз, а вблизи (0,1 км) хвостохранилища – в 400 раз (Густайтис и др., 2016).

Для определения количества токсиканта, поступившего в организм человека, в качестве биологического материала используют волосы, мочу и кровь, анализ которых дает надежный результат. Общий анализ мочи позволяет определить острое воздействие только в течение 36–72 часов, тогда как данные о содержании общей ртути в волосах широко используются в качестве биомаркера для долгосрочной оценки контакта людей со ртутью. Поскольку волосы представляют собой неинвазивный образец, концентрации Hg высоки по сравнению с другими биоматериалами. Уровни ртути в волосах соотносятся с ее концентрациями в крови в основном как 1:250, хотя возможны вариации (Packull-McCormick et al., 2022). Кроме того, более высокая степень аккумуляции ртути в волосах по сравнению с биологическими жидкостями (в волосах содержание ртути в 300 раз выше, чем в моче) облегчает процедуру анализа, поскольку для его проведения требуется меньшее количество материала (Венско, 1995). Поэтому волосы являются хорошим биомаркером и подходят для оценки степени как недавнего (от 1 месяца), так и хронического (долгосрочного) воздействия ртути. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Агентство по охране окружающей среды США (EPA) и Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) рекомендовали использовать волосы в качестве важного биологического материала для экологического скрининга (Phan et al., 2010).

Для Российской Федерации фоновое содержание ртути в волосах составляет 0,5–1,0 мкг/г, данный интервал содержания принят за референтную (нормативную (RfD)) величину для ртути в волосах в соответствии с рекомендациями ООО «Инвитро» и национального агентства по окружающей среде США (U.S. EPA). Верхняя граница референтной дозы согласно U.S. EPA RfD равняется 1,0 мкг/г, при которой ежедневное употребление метилртути в течение 70 лет жизни не будет иметь заметного риска для здоровья человека; в случае RfD более 1,0 мкг/г считается, что существует риск для здоровья человека и необходимы мероприятия по снижению данного показателя (National Research Council ..., 2000).

Имеется еще один параметр, характеризующий токсичное воздействие ртути – безопасный уровень этого элемента в волосах человека, составляющий менее 0,58 мкг/г, при котором не наблюдается негативного воздействия на организм и не требуется никаких действий. Концентрации ртути между значениями 0,58 и 1,0 мкг/г указывают на необходимость выявления потенциальных источников ртути и проведения вмешательства по уменьшению воздействия данного вещества на организм человека (Биомониторинг человека ..., 2015). Согласно исследованию Белланджер с соавторами (Bellanger et al., 2013), концентрации ртути в образцах волос женщин репродуктивного возраста, превышающие 0,58 мкг/г, в последствии могут приводить к слабовыраженным изменениям в интеллектуальном развитии их будущих детей. Этот критерий основан на результатах обследования 1875 женщин из 17 европейских стран.

Обычно уровень ртути в волосах человека, проживающего в экологически чистом регионе и не употребляющего в пищу рыбу, составляет менее 1 мкг/г, а у часто употребляющих рыбу может достигать 30 мкг/г. Самое высокое упоминаемое в литературе содержание ртути в волосах человека составило 2436 мкг/г (Pierce et al., 1972).

Цель работы – выявить особенности распределения ртути в волосах жителей поселка Акташ, расположенного в пределах природной ртутной аномалии (Курайская ртутная зона) и в ореоле действия ртутного месторождения со складированными ртутьсодержащими отходами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании использованы волосы жителей поселка Акташ (Улаганский район, Республика Алтай), расположенного на территории Курайской ртутной зоны (КРЗ), которая является частью крупной Алтае-Саянской ртутной провинции. В пределах КРЗ располагаются многочисленные месторождения и рудопроявления ртути (Gaskov, 2018). В 10 км восточнее

поселка Акташ на юго-западном макросклоне Курайского хребта располагается карбонатно-киноварное эпитермальное Акташское месторождение ртути, а также остатки рудничного хозяйства в виде перемещенных горных пород и отходов Акташского горно-металлургического предприятия (АГМП). Эта местность признана территорией с высоким уровнем накопленного экологического ущерба (Робертус и др., 2015). Тем не менее район АГМП постоянно посещается туристами, поскольку неподалеку расположена смотровая площадка «Ретронслятор», открывающая вид на Северо-Чуйский хребет. Таким образом, поселок Акташ расположен в ореоле действия Акташского месторождения ртути и АГМП, а на его территорию постоянно поступают отходы АГМП с колес туристических машин.

Отбор биоматериала провели в марте 2019 года. Данные о персональной принадлежности проб, а также анкетные данные (возраст, пол, место рождения, место работы), полученные в ходе обследования, считаются конфиденциальными личными данными. Была сформирована репрезентативная выборка из 84 жителей поселка Акташ: 32 мужчины и 52 женщины. Жителей поселка разделили на следующие группы:

- 1) Взрослые (возраст 18-55 лет) – 21 человек;
- 2) Взрослые (возраст более 55 лет) – 20 человек;
- 3) Дети дошкольного возраста (3-6 лет) – 4 человека;
- 4) Дети школьного возраста (10-15 лет) – 39 человек;
- 5) 8 семей – 28 человек.

Последняя группа была выделена с целью установления закономерностей накопления ртути среди жителей поселка, близких по набору генов и образу жизни.

Известно, что существует связь содержания ртути в организме с продолжительностью проживания людей на определенной территории (Корчина, 2009). Поэтому все вышеперечисленные группы жителей поселка Акташ были дифференцированы на коренных и некоренных. К коренным жителям отнесли группу людей, которые родились, выросли и проживают в данный момент в поселке, то есть 100% времени провели на исследуемой территории. Среди жителей старше 55 лет была еще выделена группа бывших рабочих АГМП – 6 человек, так как существует зависимость содержания ртути в организме от времени контакта с ее соединениями (Queiro-Abad et al., 2019).

Пробоотбор проводили путем отрезания ножницами из нержавеющей стали пряди волос на расстоянии в несколько миллиметров от корня, не менее, чем в пяти точках головы, после мытья шампунем и сушки, согласно методикам (Szynkowska et al., 2015; Chojnacka et al., 2005). Общая масса биоматериала составляла 1–3 г. Образцы хранили в пластиковых пакетах с идентификационными бирками и отправляли в лабораторию для дальнейших исследований. В лаборатории образцы волос измельчали на кусочки (3–5 мм) для удобства проведения измерения (Szynkowska et al., 2015; Chojnacka et al., 2005). Содержание ртути в пробах определили с помощью ртутного анализатора РА-915М с приставкой РП91С (Льюмэкс, Санкт-Петербург) по методике МУК 4.1.1470-03. Предел обнаружения 0,01 мкг/г. Стандартное отклонение измерений составляет не более 20%. Правильность измерений ртути в волосах контролировали с использованием стандартного образца состава ERM-CE 464 (European Reference Material CE-464, Tuna Fish).

Для оценки геохимического фона территории, где проживают исследуемые группы людей (п. Акташ), изучено распределение ртути в почве и воздухе (атмосферном (1 м от поверхности земли) и почвенном (1–2 см от земли)). Фоновые распределения ртути исследовали на примере Курайской степи, которая расположена южнее п. Акташ вплоть до п. Курай. Пробы почв и воздуха отбирали в одном месте по сетке в 1 км между точками. Для измерения содержания ртути в воздухе использовали анализатор «РА-915М» по стандартной методике М 03-06-2004, в режиме мобильного анализа. Предел обнаружения составляет 1 нг/м³, стандартное отклонение измерений – 5-10%.

Почвенные образцы отбирали кольцом с диаметром равным 10 на 10 см в глубину методом вдавливания в местах общего пользования (газоны, обочины, пустыри) и упаковывали в полиэтиленовые пакеты. В лабораторных условиях почву высушивали до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре (20–22 °С), избегая прямых солнечных лучей. Далее пробы гомогенизировали на виброистирателе. Валовое содержание ртути в почвенных образцах определили методом беспламенной атомно-абсорбционной фотометрии с помощью анализатора «РА-915М» с пиролитической приставкой «РП-91С» по методике М 03-09-2013 (ПНД Ф

16.1:2:2.2.80-2013). Предел обнаружения составляет 0,01 мкг Hg/г, стандартное отклонение измерений – не более 20%. Правильность измерений ртути в почве контролировали с использованием стандартного образца состава СДПС-3 (ГСО 2500-83, дерново-подзолистые почвы, Иркутск).

Фоновые значения ртути в почве и воздухе для Курайской ртутной зоны были установлены на базе выборки 123 проб четвертичных отложений Курайской степи. Расчет произведен для доверительной вероятности 99% ($\pm 3\sigma$) по методике Тепаносян с соавторами (2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Содержание ртути в воздухе и почве поселка Акташ. Отложения Курайской степи рассматриваются нами аналогами NASC (North American Shale Composite) для континентов, то есть имеют усредненный геохимический состав большей части пород Курайской ртутной зоны. Фоновые концентрации ртути в воздухе КРЗ (почвенный воздух – 8,5-13,5 нг/м³, атмосферный воздух – <3,5-5,7 нг/м³) превышают кларковые (почвенный и атмосферный воздух – 1,7 нг/м³) (Иванов, 1996) и фоновые значения для Горного Алтая (<1 нг/м³) (Юсупов и др., 2018). Фоновые значения для почв КРЗ (0,05-0,19 г/т) соответствуют диапазону кларковых содержаний (0,06-0,2 г/т) (Иванов, 1996) и фоновым значениям Горного Алтая (0,04-0,12 г/т) (Юсупов и др., 2018).

В почвенном воздухе поселка Акташ содержание ртути (от <1 до 54,3 нг/м³, при среднем 13,6 нг/м³) превышает фоновые значения КРЗ (доля аномальных значений 42%), а содержание данного элемента в атмосферном воздухе (от <1 до 20,1 нг/м³, при среднем 4,8 нг/м³) находится на том же уровне. В почвенных образцах из поселка установлено намного более высокое содержание ртути (0,1–64,1 г/т, при среднем 4,1 г/т), чем фоновые значения для почв КРЗ. Аномальные значения, превышающие региональный фон (>0,19 г/т), составляют 73,7%, а 19% значений превышают ПДК ртути в почве. Такое увеличение концентраций вызвано близостью АГМП и за счет постоянного привноса ртути в поселок на колесах транспорта, поднимающего туристов к смотровой площадке «Ретранслятор». В работе Робертус с соавторами (2015) указано, что пыление отходов АГМП проявлено слабо (ветровой перенос до 3-4 км), в то время как испарение с их поверхности с последующей эманацией Hg⁰ вносит наибольший вклад в содержание ртути в почве. Газортутные ореолы имеют локальный характер, не выходя за пределы объектов эмиссии. Таким образом, на фоне природной аномалии в виде Курайской ртутной зоны, разнос вещества от АГМП колесами автотранспорта напрямую будет оказывать антропогенное влияние на повышение содержания ртути в поселке.

Согласно литературным данным (Юсупов и др., 2018) среднее содержание ртути в компонентах экосистем в районе п. Акташ (юг и север поселка) варьирует в следующих диапазонах: атмосферный воздух – 72-164 нг/м³, почвенный воздух – 80-1046 нг/м³, почвы – 340-20000 г/т). В другом исследовании (Робертус и др., 2021) также отмечается, что в п. Акташ регистрируются достаточно высокое содержание ртути в атмосферном (в среднем 38,7 нг/м³ при разбросе от 2 до 200 нг/м³) и почвенном воздухе (в среднем 787 нг/м³ при разбросе от 45 до 5188 нг/м³). Эти данные по содержанию ртути в атмосферном и почвенном воздухе в среднем, соответственно, в 3 и 170 раз выше значений, установленных нами. В последней из указанных работ отмечается, что данные в основном получены в 1990 году, а также в процессе локальных отборов на территории Республики Алтай в 1992–2020 гг. Возможно, несоответствие связано с самоочищением воздуха территории после прекращения работы АГМП.

Уровни содержания ртути в волосах жителей поселка Акташ. Для исследования были выбраны в первую очередь дети, поскольку они считаются более восприимчивыми к внешнему воздействию и не подвержены влиянию производственных факторов, а также они меньше мигрируют (Швецова и др., 2010). По данным исследования школьников в возрасте от 10 до 15 лет среднее значение ртути в волосах составило 0,16 мкг/г, при этом у некоренных жителей содержание ртути в волосах равно среднему по выборке, а у коренных – чуть выше (0,17 мкг/г) (рис. 1 А, табл.). В данной группе установлено содержание, превышающее безопасный уровень содержания ртути в волосах (0,58 мкг/г) до 0,67 мкг/г (2 человека из 39), что может приводить к изменениям в интеллектуальном развитии детей (Биомониторинг человека ..., 2015). Однако эти значения не превышают референтную норму (0,5–1,0 мкг/г) (Скальный, 2004). Разделение по гендерному признаку (рис. 1 А) не выявило каких-либо различий: содержание ртути в волосах мальчиков в среднем составило 0,17, у девочек – 0,16 мкг/г.

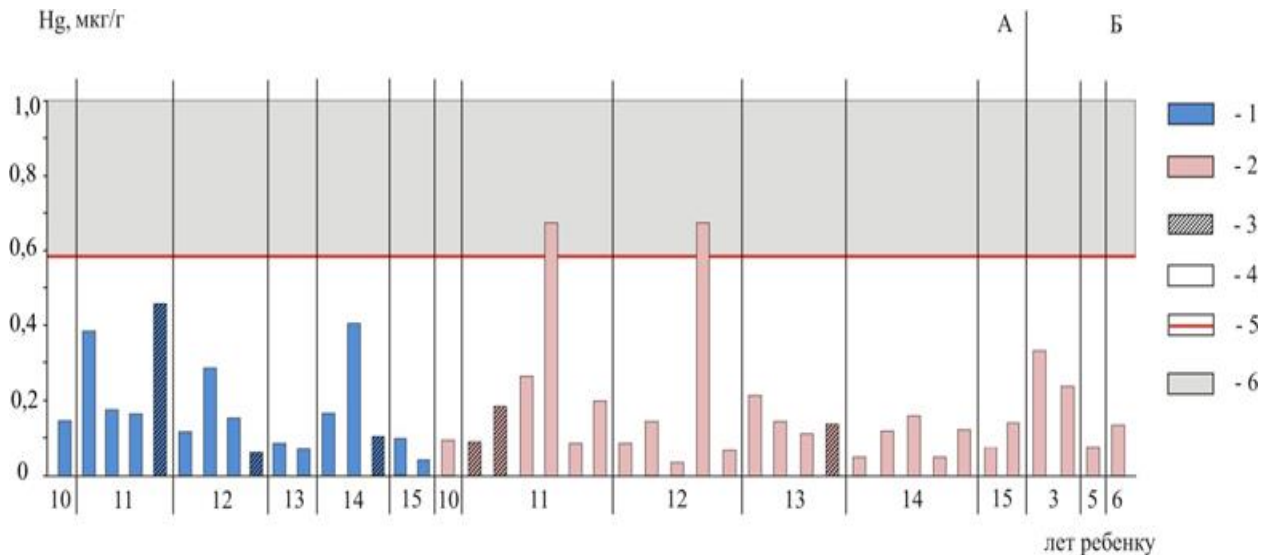


Рисунок 1. Содержание ртути в волосах детей поселка Акташ: А – школьники 10–15 лет, Б – дети дошкольного возраста (3–6 лет). 1 – мальчики, 2 – девочки, 3 – некоренные жители, 4 – коренные жители, 5 – безопасный уровень ртути в волосах человека (Bellanger et al., 2013), 6 – референтный диапазон содержания Hg в волосах человека (Биомониторинг человека ..., 2015). По оси X указан возраст детей.

Группа детей дошкольного возраста (3–6 лет) представлена только девочками, проживающими все время в поселке (коренное население, рис. 1 Б). Содержание ртути в их волосах варьировало от 0,07 до 0,34 мкг/г и в среднем составило 0,19 мкг/г (табл.), что не превышает референтный норматив. Тем не менее, среднее содержание ртути в волосах дошкольников в 1,2 раза выше, чем для детей школьного возраста (0,16 мкг/г). Согласно нашим исследованиям, в воздухе поселка и окружающей местности установлено содержание атомарной ртути до 54 нг/м³. По результатам других исследователей на данной территории значения содержания ртути в воздухе достигают 1000 нг/м³ (Юсупов и др., 2018) и даже 5200 нг/м³ (Робертус и др., 2021). Тем не менее, содержание ртути в воздухе напрямую зависит от его температуры и давления, то есть чем ближе к поверхности земли, тем выше содержание ртути. Поэтому на поверхности волос дошкольников происходит адсорбция данного элемента, поступающего из загрязненной атмосферы (Гаций, 2013).

У взрослого населения (18–55 лет) содержание ртути в волосах в среднем составило 0,22 мкг/г (табл.), что в 1,4 раза выше, чем у детей школьного возраста. Это указывает на то, что ртуть накапливается в течение жизни человека и практически не выводится из организма (Packull-McCormick et al., 2022).

У некоренного населения поселка Акташ (рис. 2) в среднем содержание элемента в волосах составило 0,15 мкг/г, что ниже в 2,6 раза, чем у коренных жителей (0,39 мкг/г). Это подтверждает тот факт, что существует влияние повышенного геохимического фона ртути на содержание данного элемента в биосубстратах людей, постоянно проживающих в поселке (Башкин, Касимов 2004; Скальный, 2004; Packull-McCormick et al., 2022). Установлены различия в содержании ртути в волосах исследуемой группы по гендерному признаку: у мужчин в среднем зафиксировано 0,25 мкг/г, что в 1,25 раза выше, чем у женщин – 0,20 мкг/г (рис. 2). Такая ситуация типична, поскольку мужское население более подвержено вредным привычкам (Кутузов, Чеснова, 2017).

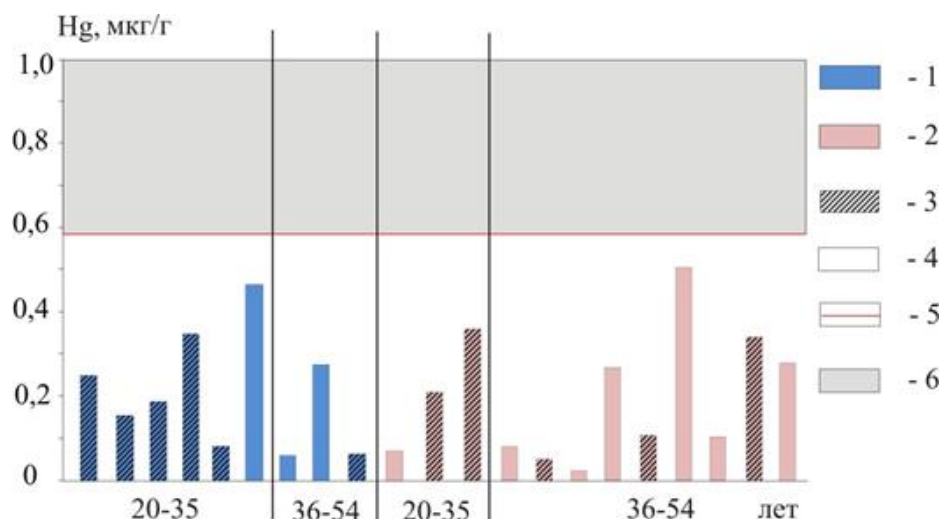


Рисунок 2. Содержание ртути в волосах жителей поселка Акташ с 18 до 55 лет: 1 – мужчины, 2 – женщины, 3 – некоренные жители, 4 – коренные жители, 5 – безопасный уровень ртути в волосах человека (Bellanger et al., 2013), 6 – референтный диапазон содержания Hg в волосах человека (Биомониторинг человека ..., 2015). По оси X указан возраст людей.

Содержание ртути в волосах жителей старше 55 лет, в которую не вошли работники АГМП, изменялось в диапазоне 0,07–0,86 мкг/г и в среднем составило 0,27 мкг/г (рис. 3 А, табл.), что выше, соответственно, в 1,7 и 1,2 раза, чем для группы школьников (0,16 мкг/г) и населения возрастом от 18 до 55 лет (0,22 мкг/г). Содержание ртути в волосах некоренного населения старше 55 лет (не работающих на АГМП) в среднем составило 0,21 мкг/г, а у коренного – в три раза больше (0,61 мкг/г), что незначительно, но превышает безопасный уровень содержания ртути в волосах. В данной группе установлены небольшие различия по гендерному признаку. Среднее содержание Hg в волосах у мужчин составило 0,30 мкг/г, у женщин чуть меньше – 0,26 мкг/г, что в 1,2 и 1,3 раза выше, чем у предыдущей группы. Это также подтверждает факт накопления ртути с возрастом и влияния вредных привычек у мужчин на содержание ртути в волосах, как было отмечено выше в случае группы детей и взрослого населения возрастом 18–55 лет (Кутузов, Чеснова, 2017).

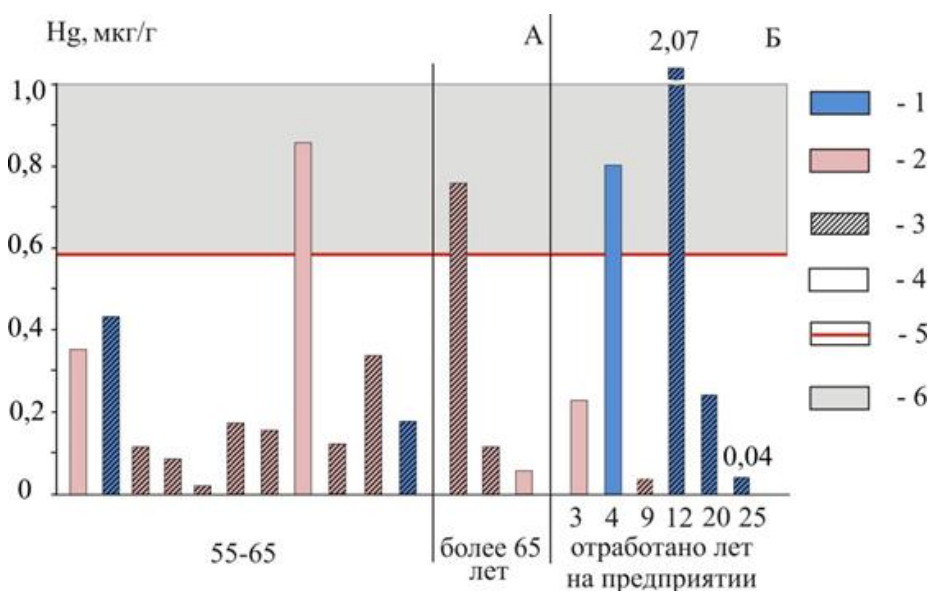


Рисунок 3. Содержание ртути в волосах жителей поселка Акташ старше 55 лет: А – не работали на Акташском горно-металлургическом предприятии (АГМП), Б – бывшие работники АГМП. 1 – мужчины, 2 – женщины, 3 – некоренные жители, 4 – коренные жители, 5 – безопасный уровень ртути в волосах человека (Bellanger et al., 2013), 6 – референтный диапазон содержания Hg в волосах человека (Биомониторинг человека ..., 2015). По оси X значения для: А – возраст людей, Б – сколько лет отработано на предприятии.

Поскольку на территории поселка до 2007 года функционировало горно-металлургическое предприятие по добычи и переработки ртути содержащих руд, то была выделена группа бывших работников АГМП (Рис. 3 Б). Их возрастной диапазон более 55 лет. Содержание ртути в волосах варьирует от 0,04 до 2,07 мкг/г и в среднем составило 0,62 мкг/г, что более чем в 2 раза выше по сравнению со значениями, установленными для жителей поселка той же возрастной категории, но не являющихся работниками АГМП. У двух бывших работников предприятия установлено превышение безопасного уровня содержания ртути в волосах (<0,58 мкг/г) в 1,4 и 3,6 раза. В данной группе так же установлены небольшие различия по гендерному признаку. Среднее содержание Hg в волосах у мужчин составило 0,65 мкг/г, у женщин чуть меньше – 0,57 мкг/г, что в 2,2 раза выше, чем у мужчин и женщин возрастом более 55 лет, которые не работали на АГМП (0,27 мкг/г). Содержание ртути в волосах некоренного населения данной группы в среднем составило 0,79 мкг/г, что превышает безопасный уровень содержания ртути в волосах в 1,3 раза, а у коренного населения (0,29 мкг/г) в 2 раза меньше, чем у некоренного. Такие различия обусловлены вредными условиями труда на предприятии (Queiro-Abad et al., 2019), которые влияют в большей степени, чем проживание в районах с повышенным геохимическим фоном элементов.

Содержание ртути в группе семей в среднем составило 0,26 мкг/г; диапазон значений варьирует значительно от 0,036 до 0,86 мкг/г. Это обусловлено возрастными различиями данной группы (рис. 4). В большинстве из исследованных семей (№ 1, 2, 5–8; рис. 4) прослеживается прямая зависимость содержания ртути в волосах от возраста, однако в семьях номер 3 и 4 установлена обратная зависимость (рис. 4). Члены некоторых семей имеют близкий возраст, например, семья номер 6 (66 и 69 лет) и семья номер 8 (60 лет) (рис. 4), при этом наблюдаются значительные различия по содержанию ртути в волосах в 2,6 и 3,4 раза, соответственно. В данной группе у коренного населения среднее содержание Hg в волосах (0,24 мкг/г) несколько ниже, чем у некоренного (0,29 мкг/г) (рис. 4, табл.). Хотя в предыдущих группах отмечена обратная зависимость. Возможно, это обусловлено тем, что в данную выборку попали бывшие работники АГМП, которые имеют повышенные значения содержания ртути в волосах независимо от того, сколько они проживают на исследуемой территории. Важно отметить, что среди данной группы выделяется 4 пробы (в семьях номер 3, 6–8; рис. 4), которые превышают безопасный уровень содержания ртути в волосах человека: три пробы из этой выборки принадлежат жителям поселка старше 60-ти лет и одна ребенку 11-ти лет. Факт повышения содержания ртути в волосах как у взрослых, так и у детей требует более детальных исследований, поскольку в анкету не входила информация о родственных связях и образе жизни каждого члена семьи в отдельности.

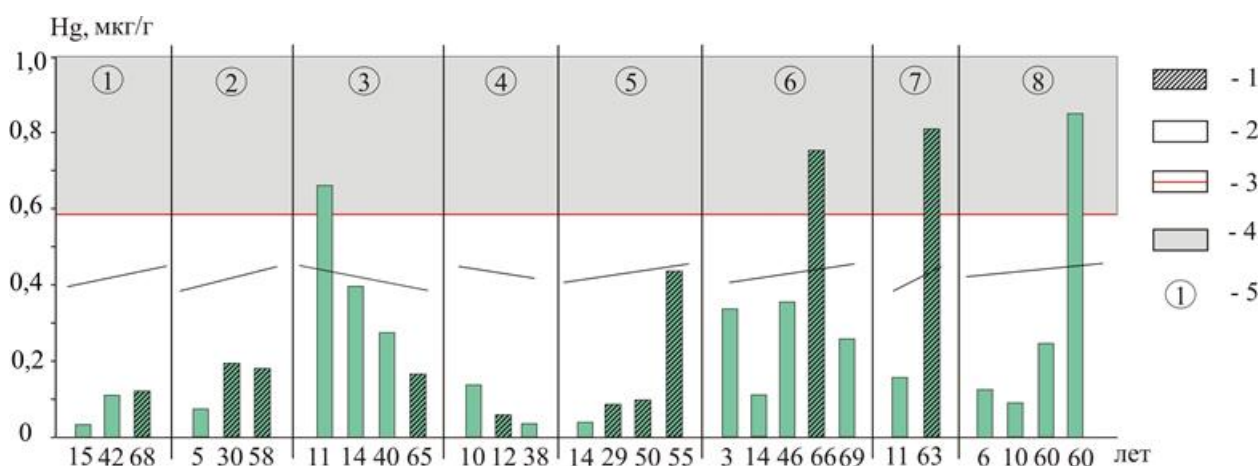


Рисунок 4. Содержание ртути в волосах жителей поселка Акташ в семьях: 1 – некоренные жители, 2 – коренные жители, 3 – величина < 0,58 мкг/г – безопасный уровень ртути в волосах человека (Bellanger et al., 2013), 4 – референтный диапазон содержания Hg в волосах человека (Биомониторинг человека ..., 2015), 5 – номер семьи, наклонная линия на диаграмме – линия тренда. Ось X – возраст людей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Диапазон содержания ртути в волосах людей из разных регионов России и Мира достаточно широк (табл.).

Содержание ртути в волосах жителей различных регионов мира в сравнении с результатами данного исследования

Страна	Группы	Возраст, лет	Ртуть, мкг/г	Источник данных
Пенанг, Малазия	Взрослое население	-*	4,92	Aldroobi et al., 2013
Италия (север/восток)	Дети	6–11	0,6	Pino et al., 2018
Испания, побережье	Взрослое население	30–49	1,73	Queipo-Abad et al., 2019
	Взрослое население	> 50	1,97	
Астурия, Испания	Рабочие завода после аварии	< 29	1,5	Малов и др., 2019
г. Санкт-Петербург, Россия	Дети	0–17	0,91	
	Взрослое население	18–49	3,1	
	Взрослое население	> 50	4,0	
	Среднее по группе	-	2,5	
Томская область, Россия	Дети	-	3,2	Барановская и др., 2011
г. Саранск, Россия	Дети	-	0,07	Янин, 2009
поселок Акташ, Республика Алтай, Россия	Дети			
	Девочки	3–6	0,19	Результаты данного исследования
	Коренные жители	10–15	0,16	
	Некоренные жители		0,17	
	Мальчики		0,16	
	Девочки		0,17	
	Среднее по группе		0,16	
	Взрослые			
	Коренные жители	18–55	0,29	Результаты данного исследования
	Некоренные жители		0,15	
	Мужчины		0,25	
	Женщины		0,20	
	Среднее по группе		0,22	
	Коренные жители	> 55	0,61	
	Некоренные жители		0,21	
	Мужчины		0,3	
	Женщины		0,26	
	Среднее по группе		0,27	
	Коренные жители	рабочие АГМП	0,29	
	Некоренные жители		0,79	
	Мужчины		0,65	
	Женщины		0,57	
	Среднее по группе		0,62	
	Семьи	-	0,26	
	Семьи коренных жителей	-	0,24	
	Семьи некоренных жителей	-	0,29	
	Среднее для всей жителей поселка Акташ	-	0,23	

Примечание. * – приведены средние значения без указания на возраст группы людей.

Например, содержание ртути в волосах населения такого крупного промышленного центра как г. Санкт-Петербург составляет 2,5 мкг/г (Малов и др., 2019).

У жителей полуострова Пенанг (Малазия) (Aldroobi et al., 2013), потребляющих значительное количество морепродуктов и риса, содержание ртути в волосах в среднем составляет 4,92 мкг/г. Эти значения в сравнении с приведенными выше в 11 и 21 раз выше, чем у жителей поселка Акташ (Hg ср. = 0,23 мкг/г) (табл.).

У детей работников Саранского электролампового завода (Янин, 2009), чьи родители подвергались воздействию Hg^0 на данном предприятии, содержание ртути в волосах не столь высокое (0,07 мкг/г), как, например, у детей в Томской области (табл.). Высокое содержание ртути обусловлено ее аэрогенным поступлением при пылении почв, загрязнённых фунгицидами (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989), либо по пищевой цепи через выращенные на этих почвах сельскохозяйственные культуры (Барановская и др., 2011). Содержание ртути в волосах детей в Италии (северная и южная прибрежные части) составляет 0,6 мкг/г (Aldroobi et al., 2013). Данная территория принадлежит к средиземноморскому ртутному поясу, а население традиционно употребляет в пищу много морепродуктов и проживает в крупных промышленных центрах. Содержание ртути в волосах детей в 3,7 раз выше, чем в аналогичной группе жителей поселка Акташ (табл.).

В группе населения п. Акташ в возрасте от 18 до 55 лет содержание ртути в волосах ниже (0,15-0,29 мкг/г), чем, например, в волосах жителей побережья Испании (1,73 мкг/г), относящегося к средиземноморскому ртутному поясу (Шевырев, 2013), или жителей такого крупного индустриального центра России как г. Санкт-Петербург (3,1 мкг/г) (Малов и др., 2019).

У населения Испании старше 55 лет содержание ртути в волосах в среднем составляет 1,97 мкг/г (Queiro-Abad et al., 2019), у жителей г. Санкт-Петербург (Россия) – 4,05 мкг/г, что выше в 7,2 и 15 раз, соответственно, чем для данной группы жителей поселка Акташ (0,27 мкг/г).

Содержание ртути в волосах рабочих, получивших острое отравление ртутью после аварии в 2012 году на заводе по производству цинка (Астурия, Испания) в среднем составило 1,5 мкг Hg/g (Queiro-Abad et al., 2019) (табл.). Это более, чем в 2 раза выше (0,62 мкг/г), по сравнению с жителями поселка Акташ, работавшими на АГМП.

Таким образом, можно выделить несколько основных факторов, которые существенно влияют на накопление ртути в организме человека:

- проживание на территории геохимических аномалий (Aldroobi et al., 2013; Queiro-Abad et al., 2019) и промышленных центров (Малов и др., 2019; Aldroobi et al., 2013);
- употребление продуктов питания с высокими содержаниями ртути (рыба, рис, грибы) (Барановская и др., 2011; Queiro-Abad et al., 2019);
- время проживания (Packull-McCormick et al., 2022);
- вредные привычки (курение) (Кутузов, Чеснова, 2017);
- адсорбция ртути из загрязненной атмосферы на поверхности волос (Таций, 2013);
- аварии на предприятиях, использующие ртуть при производстве (Queiro-Abad et al., 2019; Янин, 2009).

ВЫВОДЫ

1. Установлено высокое содержание ртути в атмосферном и почвенном воздухе поселка Акташ, в 6 раз превышающее фоновые значения. Среднее содержание ртути в почве превышает среднее фоновое значение в 17 раз, а среднее значение в почвах Мира – на порядок. Аномальные (относительно фоновых) концентрации ртути составляют 47,5%, выше ПДК – 20% значений в выборке.

2. В группе детей дошкольного возраста отмечено повышенное содержание ртути в волосах, что обусловлено наличием в воздухе поселка Акташ и окружающей местности атомарной ртути и ее адсорбцией на поверхности волос.

3. Несмотря на то, что жители поселка Акташ проживают на территории с повышенным геохимическим фоном (Курайская ртутная зона), среднее содержание ртути в их волосах составило 0,23 мкг Hg/g , что значительно ниже референтной дозы,

4. Отмечено увеличение количества ртути в волосах с возрастом людей. У коренных жителей поселка Акташ содержание ртути в волосах выше, чем у приезжих и мужчин в возрастных группах 18-55 и более 55 лет.

5. Наиболее высокое содержание ртути в волосах установлено у бывших работников горнодобывающего предприятия, что является следствием влияния повышенной вредности производства.

6. Для жителей поселка Акташ поступление ртути в организм связано с процессом дыхания и адсорбцией элемента на поверхности волос из загрязненной атмосферы, а также с употреблением продуктов питания, содержащих ртуть (рыба, грибы) и в результате курения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы работы благодарят Мадину Жумабековну Козубаеву и Наталью Юрьевну Красных за помощь в сборе данных и проведении анкетирования жителей поселка Акташ.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Экспедиционные и геохимические работы частично выполнены в рамках государственного задания ИГМ СО РАН им. В.С. Соболева. Анализ содержания ртути в почвах выполнен при поддержке РФФ 18-77-10056. Все лабораторные работы проведены на базе Центра коллективного пользования «Многоэлементных и изотопных исследований» ИГМ СО РАН, г. Новосибирск.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановская Н.В., Швецова Д.В., Судыко, А.Ф. Региональная специфика элементного состава волос детей, проживающих на территории Томской области // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2011. № 319 (1). С. 212-220.
2. Башкин В. Н., Касимов Н. С. *Биогеохимия*. М.: Науч, 2004. 647 с.
3. *Биомониторинг человека: факты и цифры*. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2015. URL: <http://www.euro.who.int/ru/health-topics/environmentandhealth/health-impact>
4. ВОЗ. *Метилртуть*. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. 101. Медицина. 1993. 124 с.
5. Густайтис М.А., Мягкая И.Н., Щербов Б.Л., Лазарева Е.В. Загрязнение ртутью окружающей среды после эксплуатации Ново-Урского золоторудного месторождения (Кемеровская область) // *Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле*. 2016. Т. 18. С. 14–24.
6. Иванов В.В. *Экологическая геохимия элементов* / Справочник в шести книгах. Кн. 6. Главные d-элементы. М: Экология, 1996. 576 с.
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. *Микроэлементы в почвах и растениях*. М: МИР, 1989. 439 с.
8. Ковальский В.В. *Геохимическая экология*. Большая медицинская энциклопедия. 1977. Т. 5. 276 с.
9. Корчина Т.Я. *Микроэлементный статус коренного и некоренного населения Северо-Запада Сибири*. Деп. В ВИНТИ 13.03.2008. № 219. 2009. 24 с.
10. Кутузов М.Н., Чеснова А.Е. Определение содержания метилртути в волосах у мужчин, проживающих в городе Череповце // *Эволюционные и экологические аспекты изучения живой материи*. 2017. С. 206–210.
11. Малов А.М., Луковникова Л.В., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш., Дейнега А.В. *Макромицеты как чувствительный объект оценки загрязнения территории Санкт-Петербурга ртутью* // Профилактическая медицина-2019: Сб. науч. трудов Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. (Санкт-Петербург, 14-15 ноября 2019 г.) / под ред. Мельцера А.В., Якубовой И.Ш. Ч. 2. СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2019. 264 с.
12. ПНД Ф 16.1:2.2.80-2013 (М 03-09-2013). Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли общей ртути в пробах почв, грунтов, в том числе тепличных грунтов, глин и донных отложений атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915М.
13. Рихванов Л.П., Абросимова Н.А., Барановская Н.В. и др. *Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 437 с.
14. Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В. Особенности ртутного загрязнения окружающей среды в районе Акташского горно-металлургического предприятия (Республика Алтай) // *География и природные ресурсы*. 2015. № 3. С. 48–55.
15. Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Пузанов А.В., Елизаровн К.В. Ртуть в компонентах природной среды Республики Алтай // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021. № 332 (3). С. 158–167. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/3/3111>
16. Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. *Геохимия окружающей среды*. М.: Недра, 1990. 335 с.
17. Скальный А.В. *Химические элементы в физиологии и экологии человека*. М.: МИР, 2004. 216 с.
18. Тацый Ю.Г. О возможности использования волос в качестве биоиндикатора загрязнения окружающей среды ртутью // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2013. № 12. С. 158–164.
19. Тепаносян Г.О., Беляева О.А., Саакян Л.В., Сагателян А.К. Интегрированный подход при определении фоновых содержаний химических элементов в почвах // *Геохимия*. 2017. № 6. С. 563–570.
20. Швецова Д.В., Барановская Н.В., Корогод Н.П. *Ртуть в волосах детей Томской области* // Ртуть в биосфере: экологогеохимические аспекты: Матер. Междунар. симп. Москва, Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. 2010. С. 330–333.

21. Шевырев Л.Т. Закономерности в распределении летучих элементов в поверхностной оболочке Земли: вероятная историко-минералогическая интерпретация. Статья 1. Ртуть // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология*. 2013. № 2. С. 106–117.
22. Юсупов Д.В., Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Любимов Р.В., Ляпина Е.Е., Турсуналиева Е.М. Распределение ртути в компонентах окружающей среды горнорудных районов Республики Алтай // *Оптика атмосферы и океана*. 2018. № 31 (1). С. 73–78. DOI: [10.15372/AOO20180112](https://doi.org/10.15372/AOO20180112)
23. Янин Е.П. Место работы родителей как возможный фактор гигиенического риска для детей // *Медицина труда и промышленная экология*. 2009. № 6. С. 37–39.
24. Aldroobi K.S.A., Shukri A., Bauk S., Munem E.M.A., Abuarrar A.M. Determination of arsenic and mercury level in scalp hair from a selected population in Penang, Malaysia using XRF technique // *Radiation Physics and Chemistry*. 2013. Vol. 91. P. 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.06.004>
25. Bellanger M., Pichery C., Aerts D. et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention // *Environment Health*. 2013. Vol. 12. P. 3–10. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-3>
26. Bencko V. Use of human hair as a biomarker in the assessment of exposure to pollutants in occupational and environmental settings // *Toxicology*. 1995. Vol. 101. P. 29–39.
27. Carmona M., Llanos W., Higuera P., Kocman D. Mercury emissions in equilibrium: a novel approach for the quantification of mercury emissions from contaminated soils // *Analytical Methods*. 2013. 5 (11). P. 2793–2801.
28. Chojnacka K., Gorecka H., Chojnacki A., Gorecki H. Inter-element interactions in human hair // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2005. Vol. 20. P. 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2005.03.004>
29. De Almeida R.P., Ferrari R.G., Dos Santos L.N., Junior C.A.C. Mercury in aquatic fauna contamination: a systematic review on its dynamics and potential health risks // *Journal of Environmental Sciences*. 2019. 84. P. 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.02.018>
30. Gaskov I.V. Features of Magmatim-Related Metallogeny of Gorny Altai and Rudny Altai (Russia) // *Russian Geology and Geophysics*. 2018. Vol. 59. № 8. P. 1010–1021. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.07.020>
31. National Research Council. *Toxicological effects of methylmercury*. Washington, DC: National Academies Press; 2000. URL: <https://www.nap.edu/read/9899/chapter/1> (дата обращения: 27.04.17)
32. Packull-McCormick S., Ratelle M., Lam C., Napenas J., Bouchard M., Swanson H., Laird B.D. Hair to blood mercury concentration ratios and a retrospective hair segmental mercury analysis in the Northwest Territories, Canada // *Environmental Research*. 2022. Vol. 203. 111800. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111800>
33. Phan K., Sthiannopkao S., Kimet K.W. et al. Health risk assessment of inorganic arsenic intake of Cambodia residents through groundwater drinking pathway // *Water research*. 2010. Vol. 44. № 19. P. 5777–5788. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.021>
34. Pierce P.E., Thompson J.F., Likosky W.H., Nickey L.N., Barthel W.F., Hinman A.R. Alkyl mercury poisoning in humans // *JAMA*. 1972. Vol. 220. P. 1439–1442.
35. Pino A., Bocca B., Forte G., Majorani C., Petrucci F., Senofonte O., Alimonti A. Determination of mercury in hair of children // *Toxicology letters*. 2018. Vol. 298. P. 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2018.06.1215>
36. Queipo-Abad S., González P.R., Martínez-Morillo E., Davis W.C., Alonso J.I.G. Concentration of mercury species in hair, blood and urine of individuals occupationally exposed to gaseous elemental mercury in Asturias (Spain) and its comparison with individuals from a control group formed by close relatives // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 672. P. 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.367>
37. Stamenkovic J., Gustin M.S. Nonstomatal versus stomatal uptake of atmospheric mercury // *Environmental Science and Technology*. 2009. 43 (5). P. 1367–1372.
38. Szyrkowska M.I., Marcinek M., Pawlaczyk A., Albińska J. Human hair analysis in relation to similar environmental and occupational exposure // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2015. Vol. 40. P. 402–408. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.07.005>

Поступила в редакцию 05.01.2022

Принята 13.01.2022

Опубликована 14.01.2022

Сведения об авторах:

Густайтис Мария Алексеевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии благородных и редких элементов ФГБУН Институт геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); gustaitis@igm.nsc.ru

Мягкая Ирина Николаевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии благородных и редких элементов ФГБУН Институт геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); i_myagkaya@igm.nsc.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

**DISTRIBUTION OF MERCURY IN THE HAIR OF RESIDENTS OF AKTASH
(REPUBLIC OF ALTAI)**

© 2022 M. A. Gustaytis , I. N. Myagkaya

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia. E-mail: gustaitis@igm.nsc.ru

The aim of the study: to reveal the peculiarities of mercury distribution in the hair of residents of the Aktash settlement, which is located within the natural mercury anomaly (Kurai mercury zone, Russia) and influence area of a mercury deposit with stored mercury-containing waste.

Location and time of the study. Sampling was carried out in 2019 in Aktash village (Ulagan district, Altai Republic), which is part of the Kurai mercury zone.

Methodology. Mercury in the samples was determined by the atomic absorption method using a RA-915M mercury analyzer.

Results. High concentrations of Hg in the atmospheric and soil air were revealed. The average mercury content in the hair of Aktash residents was 0.23 µg/g, which was significantly lower than the reference value. An increased content of mercury in the hair of the indigenous population of the Aktash settlement was revealed, the differences being sex-related. The highest mercury levels were found in former mining workers. It was found that mercury enters the body of the inhabitants of the settlement to a greater extent by breathing and as a result of adsorption from the atmosphere on the hair surface, and to a lesser extent through the consumption of food containing mercury (fish, mushrooms) or as a result of smoking.

Key words: Kurai mercury zone, mercury; hair; soil, air

How to cite: Gustaytis M.A., Myagkaya I.N. Distribution of mercury in the hair of Aktash residents (Republic of Altai) // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(1). e165. DOI: [10.31251/pos.v5i1.165](https://doi.org/10.31251/pos.v5i1.165) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Baranovskaya N.V., Shvetsova D.V., Sudyko, A.F. Regional specificity of the elemental composition of the hair of children living in the Tomsk region // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*. 2011, No. 319 (1), p. 212–220. (in Russian)
2. Bashkin V.N., Kasimov N.S. *Biogeochemistry*. Moscow: Nauch, 2004. 647 p. (in Russian)
3. *Human biomonitoring: facts and figures*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2015. URL: <http://www.euro.who.int/ru/health-topics/environmentandhealth/health-impact>
4. WHO. *Methylmercury*. Hygienic criteria for the state of the environment. 101. Medicine, 1993. 124 p. (in Russian).
5. Gustaitis M.A., Myagkaya I.N., Shcherbov B.L., Lazareva E.V. Mercury contamination of the environment after the operation of the Novo-Ursk gold ore deposit (Kemerovo region) // *Bulletin of the Irkutsk State University. Ser. Earth sciences*, 2016, Vol. 18, p. 14–24. (in Russian)
6. Ivanov V.V. *Ecological geochemistry of elements* / Handbook in six books. Book. 6. Main elements. M: Ecology, 1996. 576 p. (in Russian)
7. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants*. M: MIR, 1989. 439 p. (in Russian)
8. Kovalsky V.V. *Geochemical ecology*. Great medical encyclopedia, 1977, Vol. 5, 276 p. (in Russian)
9. Korchina T.Ya. *Trace element status of the indigenous and non-indigenous population of the North-West of Siberia*. Dep. AT VINITI 03/13/2008. No. 219. 2009. 24 p. (in Russian)
10. Kutuzov M.N., Chesnova A.E. Determination of the content of methylmercury in the hair of men living in the city of Cherepovets // *Evolutionary and ecological aspects of the study of living matter*, 2017, p. 206–210. (in Russian)
11. Malov A.M., Lukovnikova L.V., Alikbaeva L.A., Yakubova I.Sh., Deinega A.V. *Macromycetes as a sensitive object for assessing the pollution of the territory of St. Petersburg with mercury* // Preventive Medicine-2019: Coll. scientific. Proceedings of Vseros. scientific and practical. conf. with int. participation. (St. Petersburg, November 14-15, 2019) / ed. Meltsera A.V., Yakubova I.Sh. Part 2. SPb.: Publishing house of the North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 2019. 264 p. (in Russian)
12. *PND F 16.1: 2: 2.2.80-2013 (M 03-09-2013)*. Quantitative chemical analysis of soils. Methods for measuring the mass fraction of total mercury in soil samples, grounds, including greenhouse grounds, clays and bottom sediments by the atomic absorption method using a mercury analyzer RA-915M. (in Russian)

13. Rikhvanov L.P., Abrosimova N.A., Baranovskaya N.V. and others. *Biogeochemical monitoring in the areas of tailing dumps of mining enterprises, taking into account the microbiological factors of transformation of mineral components*. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2017. 437 p. (in Russian)
14. Robertus Yu.V., Puzanov A.V., Lyubimov R.V. Features of mercury pollution of the environment in the area of the Aktash mining and metallurgical enterprise (Altai Republic) // *Geography and natural resources*, 2015, No. 3, p. 48–55. (in Russian)
15. Robertus Yu.V., Rikhvanov L.P., Puzanov A.V., Elizarov K.V. Mercury in the components of the natural environment of the Altai Republic // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*. 2021, No. 332 (3), p. 158–167. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/3/3111> (in Russian)
16. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. and others. *Geochemistry of the environment*. Moscow: Nedra, 1990. 335 p. (in Russian)
17. Skalny A.V. *Chemical elements in human physiology and ecology*. M.: MIR, 2004. 216 p. (in Russian)
18. Tatsiy Yu.G. On the possibility of using hair as a bioindicator of environmental pollution with mercury // *Vestn. Tyumen. state un-that. Ecology and nature management*, 2013, No. 12, p. 158–164. (in Russian)
19. Tepanosyan G.O., Belyaeva O.A., Sahakyan L.V., Saghatelyan A.K. An integrated approach in determining the background contents of chemical elements in soils // *Geokhimiya*, 2017, No. 6, p. 563–570. (in Russian)
20. Shvetsova D.V., Baranovskaya N.V., Korogod N.P. Mercury in the hair of children of the Tomsk region // Mercury in the biosphere: ecological and geochemical aspects: Mater. Int. symp. Moscow, Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry. IN AND. Vernadsky RAS, 2010, p. 330–333. (in Russian)
21. Shevyrev L.T. Regularities in the distribution of volatile elements in the surface shell of the Earth: a probable historical and mineragenic interpretation. Article 1. Mercury // *Bulletin of the Voronezh State University. Ser. Geology*, 2013, No. 2, p. 106–117. (in Russian)
22. Yusupov D.V., Robertus Yu.V., Rikhvanov L.P., Lyubimov R.V., Lyapina E.E., Tursunaliyeva E.M. Distribution of mercury in the environmental components of mining regions of the Altai Republic // *Optics of the atmosphere and ocean*, 2018, No. 31 (1), p. 73–78. DOI: [10.15372/AOO20180112](https://doi.org/10.15372/AOO20180112) (in Russian)
23. Yanin E.P. Parents' place of work as a possible factor of hygienic risk for children // *Occupational Medicine and Industrial Ecology*, 2009, No. 6, p. 37–39. (in Russian)
24. Aldroobi K.S.A., Shukri A., Bauk S., Munem E.M.A., Abuarra A.M. Determination of arsenic and mercury level in scalp hair from a selected population in Penang, Malaysia using XRF technique // *Radiation Physics and Chemistry*, 2013, Vol. 91, p. 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.06.004>
25. Bellanger M., Pichery C., Aerts D. et al. Economic benefits of methylmercury exposure control in Europe: Monetary value of neurotoxicity prevention // *Environment Health*, 2013, Vol. 12, p. 3–10. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-3>
26. Bencko V. Use of human hair as a biomarker in the assessment of exposure to pollutants in occupational and environmental settings // *Toxicology*, 1995, Vol. 101, p. 29–39.
27. Carmona M., Llanos W., Higuera P., Kocman D. Mercury emissions in equilibrium: a novel approach for the quantification of mercury emissions from contaminated soils // *Analytical Methods*, 2013, 5 (11), p. 2793–2801.
28. Chojnacka K., Gorecka H., Chojnacki A., Gorecki H. Inter-element interactions in human hair/ // *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2005, Vol. 20, p. 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2005.03.004>
29. De Almeida R.P., Ferrari R.G., Dos Santos L.N., Junior C.A.C. Mercury in aquatic fauna contamination: a systematic review on its dynamics and potential health risks // *Journal of Environmental Sciences*, 2019, Vol. 84, p. 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.02.018>
30. Gaskov I.V. Features of Magmatim-Related Metallogeny of Gorny Altai and Rudny Altai (Russia) // *Russian Geology and Geophysics*, 2018, Vol. 59, No. 8, p. 1010–1021. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.07.020>
31. National Research Council. *Toxicological effects of methylmercury*. Washington, DC: National Academies Press; 2000. URL: <https://www.nap.edu/read/9899/chapter/1> (дата обращения: 27.04.17)
32. Packull-McCormick S., Ratelle M., Lam C., Napenas J., Bouchard M., Swanson H., Laird B.D. Hair to blood mercury concentration ratios and a retrospective hair segmental mercury analysis in the Northwest Territories, Canada // *Environmental Research*, 2022, Vol. 203, 111800. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111800>
33. Phan K., Sthiannopkao S., Kimet K.W. et al. Health risk assessment of inorganic arsenic intake of Cambodia residents through groundwater drinking pathway // *Water research*, 2010, Vol. 44, No. 19, p. 5777–5788. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.021>
34. Pierce P.E., Thompson J.F., Likosky W.H., Nickey L.N., Barthel W.F., Hinman A.R. Alkyl mercury poisoning in humans // *JAMA*, 1972, Vol. 220, p. 1439–1442.
35. Pino A., Bocca B., Forte G., Majorani C., Petrucci F., Senofonte O., Alimonti A. Determination of mercury in hair of children // *Toxicology letters*, 2018, Vol. 298, p. 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2018.06.1215>
36. Queipo-Abad S., González P.R., Martínez-Morillo E., Davis W.C., Alonso J.I.G. Concentration of mercury species in hair, blood and urine of individuals occupationally exposed to gaseous elemental mercury in Asturias (Spain) and its comparison with individuals from a control group formed by close relatives // *Science of The Total Environment*, 2019, Vol. 672, p. 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.367>
37. Stamenkovic J., Gustin M.S. Nonstomatal versus stomatal uptake of atmospheric mercury // *Environmental Science and Technology*, 2009, 43 (5), p. 1367–1372.

38. Szyrkowska M.I., Marcinek M., Pawlaczyk A., Albińska J. Human hair analysis in relation to similar environmental and occupational exposure // *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2015, Vol. 40, p. 402–408. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.07.005>

Received 05 January 2022
Accepted 13 January 2022
Published 14 January 2022

About the authors:

Gustaitis Maria Alekseevna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Geochemistry of Noble and Rare Elements, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); gustaitis@igm.nsc.ru

Myagkaya Irina Nikolaevna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Geochemistry of Noble and Rare Elements, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); i_myagkaya@igm.nsc.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)