

Читать
онлайн
Read
onlineЧанчаева Е.А.¹, Гржибовский А.М.^{2,3,4,5}, Куриленко Т.К.¹, Малков П.Ю.¹

Концентрация кадмия в волосах населения субъектов Российской Федерации: систематический обзор

¹ФГБОУ ВО «Горно-Алтайский государственный университет», 649000, Горно-Алтайск, Россия;²ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», 163069, Архангельск, Россия;³ФГАОУ ВО «Северо-Восточный Федеральный университет имени М.К. Аммосова», 677000, Якутск, Россия;⁴Западно-Казахстанский медицинский университет имени Марата Оспанова, 030012, Актобе, Казахстан;⁵ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 163000, Архангельск, Россия

Кадмий (Cd) — один из самых токсичных для организма человека микроэлементов. Загрязнение окружающей среды этим элементом происходит от универсальных источников, поэтому присутствие Cd в окружающей среде — актуальная проблема для всех стран. В организм Cd проникает алиментарным, ингаляционным путём и через кожу, аккумулируется в различных органах и медленно выводится из организма. Концентрацию Cd в тканях человека рассматривают как индикатор загрязнения окружающей среды, однако систематизированной информации о содержании Cd в организме применительно к населению России в литературе недостаточно.

Данная работа представляет собой систематический обзор научной литературы 2011–2021 гг., выполненный по методике PRISMA. Проведены систематический поиск и качественный синтез литературы, представляющей концентрацию Cd в волосах взрослого населения регионов Российской Федерации (РФ). Поиск информации проводили на платформах PubMed и eLIBRARY. После идентификации всех источников по критериям запроса (1202), первичного скрининга и оценки на приемлемость в обзор включено 29 публикаций. За изучаемый период опубликованы результаты исследований по 19 субъектам РФ, что составляет менее четверти всех субъектов. Установили, что в исследованиях авторы используют гомогенные методы пробподготовки, гетерогенные методы лабораторного анализа и неоднородный количественный состав выборок (от 12 до 5908 человек). У здорового взрослого населения РФ средние арифметические значения находятся в пределах от 0,010 до 0,164 мг/кг. Проявляется зависимость накопления Cd в волосах от региона проживания: самые высокие показатели выявлены в Оренбургской области (0,164), у коренного населения Ямало-Ненецкого автономного округа (0,15), в Арктической зоне Республики Саха (0,14); среди максимальных значений самые высокие зафиксированы в Оренбургской области (7,02), Республике Башкортостан (0,9), в г. Ярославле (0,37).

Заключение. Для картирования значений концентрации Cd в волосах взрослого населения РФ за период 2011–2021 гг. необходимы данные по 66 субъектам, включение которых в систематические обзоры будет возможно при соблюдении общих рекомендаций по репрезентативности и достаточности выборочных совокупностей и подробному представлению методологии исследования для обеспечения воспроизводимости и сравнимости результатов.

Ключевые слова: кадмий; волосы; население России

Для цитирования: Чанчаева Е.А., Гржибовский А.М., Куриленко Т.К., Малков П.Ю. Концентрация кадмия в волосах населения субъектов Российской Федерации: систематический обзор. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(1): 40–49. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-40-49> <https://elibrary.ru/ikzflc>

Для корреспонденции: Гржибовский Андрей Мечиславович, PhD, начальник управления по научной и инновационной работе Северного государственного медицинского университета, 163061, Архангельск; профессор кафедры общественного здоровья, здравоохранения, общей гигиены и биоэтики Северо-Восточного федерального университета, 677000, Якутск; главный научный сотрудник лаборатории Арктического мониторинга Северного (Арктического) федерального университета, 163000, Архангельск. E-mail: a.grjibovski@yandex.ru

Участие авторов: Чанчаева Е.А. — поиск информации, идентификация, скрининг, оценка на приемлемость, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи; Гржибовский А.М. — концепция и дизайн исследования, методологические аспекты, критические комментарии, доработка рукописи, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Куриленко Т.К. — оценка на приемлемость публикаций, оформление ссылок, списка литературы; Малков П.Ю. — подготовка схемы, рисунка, таблицы.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 26.07.2022 / Принята к печати: 08.12.2022 / Опубликована: 15.02.2023

Elena A. Chanchaeva¹, Andrej M. Grjibovski^{2,3,4,5}, Tatiana K. Kurilenko¹, Peter Yu. Malkov¹

Cadmium concentrations in hair in the population of the subjects of the Russian Federation: a systematic review

¹Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, 649000, Russian Federation;²Northern State Medical University, Arkhangelsk, 163069, Russian Federation;³Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, 677000, Russian Federation;⁴West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, Aktobe, 030012, Kazakhstan;⁵Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation

Cadmium (Cd) is one of the most toxic trace elements. The most important sources of Cd contamination by burning fossil fuels as coal or oil and incineration of urban waste, including plastics and nickel-cadmium batteries. In all countries these sources make Cd contamination an important health issue worldwide. Cd can enter the body through smoking tobacco, eating and drinking food and water polluted with Cd, and breathong. Cd concentration in human hair, nails and blood is considered as an indicator of environmental pollution. However, there is little systemized information on Cd concentration in human tissues in Russia.

This is a systematic review following PRISMA guidelines. We performed a systematic search and qualitative synthesis of scientific literature on Cd concentrations in hair across Russia between 2011 and 2021. PubMed and e-library were the main sources of scientific information in English and Russian, respectively. Initial search returned 1202 matches. Twenty-nine papers remained for qualitative synthesis after screening and eligibility analysis.

Studies on Cd concentrations were performed in only 19 of 85 federal subjects (22.4%). No heterogeneity was observed in sample preparation while methods of laboratory analysis varied between the settings and included inductively coupled plasma mass spectrometry, atomic absorption spectrometry, and inversion voltammetry. The sample sizes ranged from 12 to 5908 individuals. The average Cd concentrations varied from 0.010 mg/kg to 0.164 mg/kg. The greatest concentrations of Cd were reported from Sibai in the Orenburg Region (0.164 mg/kg), in indigenous people of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (0.15 mg/kg) and in residents of the Arctic part of the Sakha Republic (0.14 mg/kg); The maximum values on the abovementioned regions were 7.02 mg/kg, 0.52 mg/kg, and 0.51 mg/kg. High maximum concentrations were also found in the Republic of Bashkortostan (0,9 mg/kg) and in Yaroslavl (0,37 mg/kg).

Conclusion. Data on Cd concentrations in human hair from 66 federal subjects are still needed for mapping of Cd concentration in Russia. Further data collection should be performed using representative and sufficient sample samples while presentation of the results should contain detailed information on methods of data collection and analysis to ensure reproducibility and comparability of the findings.

Keywords: cadmium; hair; population; Russia

For citation: Chanchaeva E.A. Cadmium concentrations in hair in the population of the subjects of the Russian Federation: a systematic review. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(1): 40–49. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-40-49> <https://elibrary.ru/ikzfcf> (In Russian)

For correspondence: Andrej M. Grjibovski, MD, PhD, Head of the Directorate for Research and Innovations, Northern State Medical University, Arkhangelsk, 163061, Russian Federation; Professor of the Department of Public Health, Health Care, General Hygiene and Bioethics, North-Eastern Federal University, Yakutsk, 677000, Russian Federation; Professor of the Department of Health Policy and Management, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, 050040, Kazakhstan. E-mail: Andrej.grjibovski@gmail.com

Information about the authors:

Chanchaeva E.A., <https://orcid.org/0000-0001-5281-1145> Grjibovski A.M., <https://orcid.org/0000-0002-5464-0498>
Kurilenko T.K., <https://orcid.org/0000-0002-7527-8686> Malkov P.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-4613-531X>

Contribution: Chanchaeva E.A. – information search, identification, screening, eligibility assessment, article writing, responsibility for the integrity of all parts of the article; Grjibovski A.M. – the concept and design of the study, methodological aspects, critical comments, revision of the manuscript, editing and approval of the final version of the article; Kurilenko T.K. – assessment of the acceptability of publications, design of references, list of references; Malkov P.Yu. – preparation of a diagram, drawing, table.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: July 26, 2022 / Accepted: December 8, 2022 / Published: February 15, 2023

Содержание токсичных микроэлементов в окружающей среде возрастает из-за деятельности человека [1–6]. Среди наиболее опасных микроэлементов выделяют кадмий (Cd), который попадает в организм алиментарным, ингаляционным путём и через неповреждённую кожу [5, 7–9]. В атмосферный воздух этот металл поступает от универсальных источников – сжигания жидкого и твёрдого топлива [10, 11], бытовых отходов [12], от продуктов износа автомобильного транспорта [13], строительных и электробытовых материалов [14, 15], поэтому проблема присутствия Cd в окружающей среде актуальна для всех государств [2, 8, 16, 17]. От сжигания угля на поверхность Земли выделяется в 40 раз больше Cd, чем включается в биологический круговорот. Известно, что при сжигании угля происходит процесс концентрации Cd в золе, в результате относительная концентрация Cd в частицах пыли во много раз выше, чем в исходном твёрдом топливе [18, 19]. Ежегодные выбросы Cd от сжигания каменного угля составляют от 1 до 5 т/год, а ежегодное накопление этого элемента в золе может достигать 5–34 т/год [19, 20]. В промышленных масштабах зольные остатки с высоким содержанием Cd используются для производства цемента [19]. Соединения Cd широко применяют в качестве стабилизатора поливинилхлорида (ПВХ), в производстве красителей [21]. При сжигании мазута в атмосферу ежегодно выделяется до 12 т/год Cd, а при сжигании других видов жидкого топлива – до 6 т/год [22]. В почву и растения Cd может попадать при использовании фосфатных удобрений, поскольку содержание его в 100 г составляет 720 мкг для суперфосфата, 471 мкг – для фосфата калия, 66 мкг – для селитры [23]. Cd обладает крайне низкой экскреторной способностью и высоким отравляющим эффектом уже при малых концентрациях [7, 8]. Пролонгированная аккумуляция металла в тканях в малых дозах в конечном итоге приводит к заболеваниям сердечно-сосудистой системы, скелета [24], мочевыделительной [25], репродуктивной [5], нервной и дыхательной систем [24].

Результаты изучения токсикологического воздействия Cd на организм человека раскрыты во многих систематических обзорах [5, 9, 10, 26–28]. Cd изменяет транспорт кальция (Ca^{2+}), нарушает механизм входа – выхода Ca^{2+} во время сокращения и расслабления миоцитов гладкой и сердечной мышечной ткани, тем самым вызывая развитие болезней сердечно-сосудистой системы [29–31]. Кардиоваскулярная патология лидирует по распространённости

и причинам смерти в большинстве стран, а этиология не всегда изучается в полной мере [9, 32]. Установлено, что исход сердечно-сосудистого заболевания напрямую зависит от дозы воздействия Cd [9]. Загрязнение окружающей среды Cd имеет канцерогенный риск, поэтому необходим поиск средств в виде пищевых добавок для смягчения и предотвращения токсикации Cd [10]. Выявлена прямая зависимость между воздействием Cd и риском развития диабета и предиабета [28], с воздействием кадмия связан повышенный риск развития остеопении и остеопороза [26]. Исследования показали связь воздействия Cd через питьевую воду с альбинурией и протеинурией без исходов хронической болезни почек [27]. Кадмий ухудшает синтез и регуляцию гормонов половых желёз мужского и женского организма, осложняет течение и исход беременности даже при низких дозах [5].

Поскольку присутствие Cd в окружающей среде увеличивается, а накопление этого микроэлемента в тканях вызывает развитие многих заболеваний, необходимо проводить мониторинг содержания этого элемента в организме на донологической стадии. Оценка концентрации Cd у здоровой части населения разных регионов позволяет определить среднее арифметическое (M) или медианное значение (Me). Эти показатели можно использовать для оценки степени накопления Cd в организме человека: норма составляет 0,00 мг/кг, относительно нулевого значения популяционные показатели M и Me рассматривают в качестве верхнего уровня регионального критерия нормы [3, 7, 33–35]. При анализе микроэлементного статуса человека исследователи сопоставляют полученные результаты с экологическими особенностями изучаемого региона [2, 3, 36]. В этом случае организм человека рассматривается в качестве замыкающего звена аэрогеобактериальной цепи. Гипотетически содержание Cd в тканях человека (волосы, ногти, кровь и др.) является индикатором загрязнения окружающей среды [2, 3, 36–38]. Содержание металла в волосах не коррелирует с его концентрацией в моче [39], так как в метаболизме Cd проявляется высокая аккумулятивная и независимо от этого низкая экскреторная способность [5, 9, 10, 26–28]. Из всего спектра микроэлементов многими авторами фрагментарно определяется количественный состав Cd в различных тканях [7, 33–35, 40]. Среди прочего биоматериала отмечают преимущество волос для анализа накопления металлов в организме человека [2, 8].

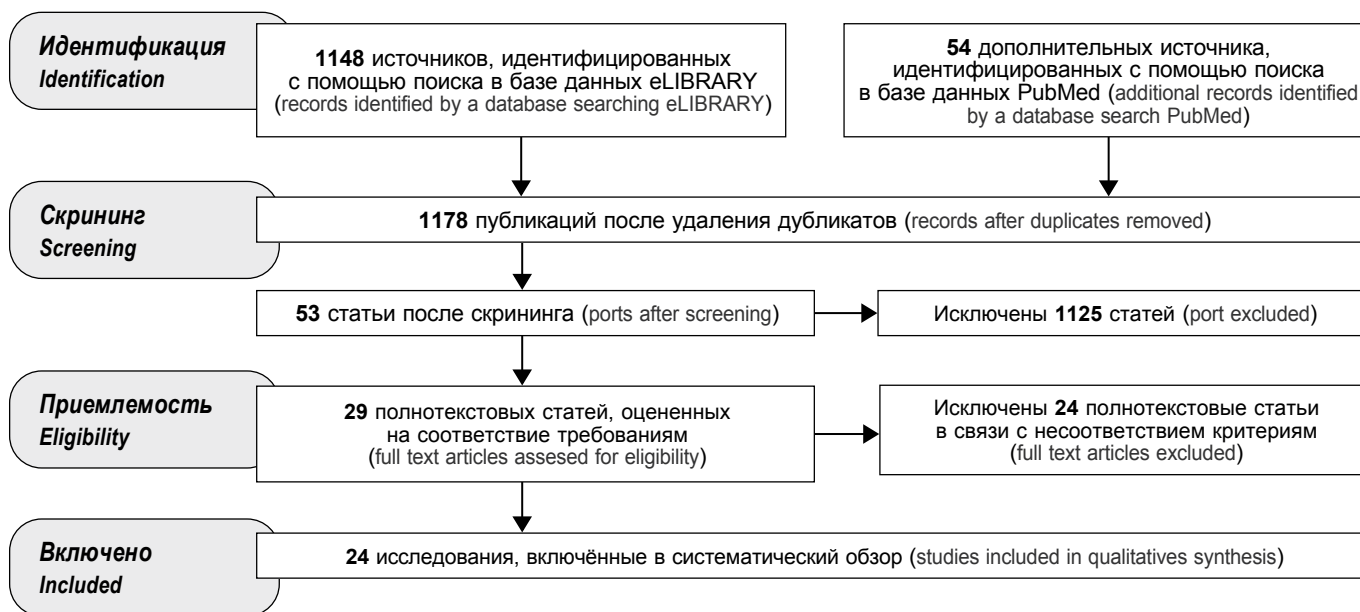


Рис. 1. Схема отбора публикаций.
Fig. 1. Flowchart for selection of papers.

В литературе приводятся следующие данные о содержании Cd в волосах жителей разных стран (мг/кг): Китай – 0–0,3 [7], Италия – 0–0,23 [33], Индия – 0–0,13 [34], Испания – 0–0,022 [35]. В перечисленных исследованиях авторы применяли гомогенную методику озоления волос азотной кислотой [7, 33–35] и гетерогенные методы анализа: индуктивно связанную плазменную масс-спектрометрию (ИСП-МС) [7, 33], атомно-абсорбционную спектроскопию (ААС) [35]. Количественный состав выборок (образцы волос человека) отличается большой вариативностью: 44 [34], 52 [7], 225 [33], 350 [35]. В опубликованных работах [41, 42] отмечается, что для составления карты эталонных значений микроэлементного состава волос населения разных регионов предпочтительна единая методология. Однако, несмотря на гетерогенный подход к сравнению данных, прослеживается определённая закономерность. Концентрация Cd в волосах населения выше в странах, богатых полезными ископаемыми, с развитой добывающей, перерабатывающей и производственной промышленностью.

Систематические обзоры, посвящённые элементному составу волос, необходимы для развития медицинской географии и картографии, анализа и прогнозирования состояния здоровья населения в экологически неблагоприятных районах [41, 42]. Картирование по содержанию Cd в волосах жителей разных стран неоднократно представлено в зарубежных работах [41–44]. В Российской Федерации, несмотря на большое количество публикаций о содержании Cd в волосах населения разных субъектов, систематический анализ и синтез данных не проводился.

В настоящее время в научной литературе накоплено достаточно данных о содержании микроэлементов в организме населения России [1, 3, 45, 46], при этом результаты исследования освещаются в большей мере в русскоязычной версии [1, 45, 46], значительно меньше – в международной англоязычной литературе [3, 47–50]. Следовательно, отсутствие необходимого уровня владения иностранным языком может привести к искажённому пониманию ситуации. Поэтому целью нашей работы стало проведение систематического обзора и качественного синтеза данных, опубликованных в русскоязычной и англоязычной научной литературе, о концентрации Cd в волосах взрослого населения Российской Федерации.

Систематический обзор и качественный синтез публикаций о количественном содержании Cd в волосах взрослого населения Российской Федерации, представленных в научной литературе на русском и английском языках, проведён с использованием критериев PRISMA.

Систематический поиск информации проводили на платформах PubMed для англоязычных публикаций и eLIBRARY для русскоязычных.

Для электронного поиска в eLIBRARY применяли расширенный поиск по следующей схеме:

- что искать – микроэлементы, волосы, человек, население, Россия;
- где искать – в названии публикации, в аннотации, в ключевых словах, в полном тексте публикации;
- параметры – искать с учётом морфологии;
- год публикации – 2011–2021.

В eLIBRARY по заданному запросу было получено 1148 источников (рис. 1).

При скрининге публикаций исключали систематические обзоры; статьи, опубликованные до 2011 г.; статьи, содержание которых не затрагивает необходимой тематики, посвящённые изучению детского возраста; рукописи, не проходящие процедуры рецензирования; исследования с использованием иного биоматериала, кроме волос с кожи головы; исследования, в которых в качестве испытуемых не выступали люди. Исключали работы, не содержащие данных о концентрации Cd в волосах человека. Исключали исследования, посвящённые патологии и клиническим наблюдениям, профессиональному воздействию микроэлементов, обследованию населения за пределами Российской Федерации. После скрининга исключено 1125 источников.

В анализ включали оригинальные исследования на русском или английском языках, опубликованные в виде полнотекстовых статей в рецензируемых журналах. Анализировали статьи, в которых авторы обязательно оценивали в микроэлементном составе волос с кожи головы содержание Cd; публикации с представлением всех, одного или нескольких из вариантов данных: среднего арифметического значения (M), медианы (Me), перцентилей (Q_1 ; Q_3), максимальных и минимальных значений. Количество источников, соответствующих критериям включения, составило 23.



Рис. 2. Концентрации кадмия в волосах населения по субъектам Российской Федерации.

Fig. 2. Cadmium concentration in the hair of the population by subjects of the Russian Federation

В конструкторе расширенного поиска PubMed (Advanced Search Builder) применяли критерии:

- Add terms to the query box – All fields (добавить термины в поле запроса – Все поля);
- Query box – trace elements hair human Russia (поле запроса – микроэлементы для волос человека Россия);
- ADD – AND (добавить – и).

Фильтры:

- Age (возраст): 19+;
- Species: Humans (вид: люди).

По данному запросу для дальнейшего анализа получено 54 источника (см. рис. 1). После исключения 24 дублирующих статей осталось 30 источников. Критерии исключения: статьи, опубликованные ранее 2011 г.; статьи, в которых отсутствовали данные о Cd; в которых было отражено профессиональное воздействие; если в исследовании принимали участие беременные женщины, население за пределами России; если изучалась патология. Всего было исключено 24 источника, в результате получено 6 статей (см. рис. 1).

В качественный анализ для систематического обзора включено 29 источников (23 eLIBRARY, 6 PubMed) (см. рис. 1). При описании данных учитывали район обследования, количественный состав, пол, возраст обследованных, метод анализа. Данные о концентрации Cd в волосах населения различных регионов представлены в одном или нескольких вариантах значений: среднее значение, медиана (Q_1 ; Q_3), максимальное и минимальное значения.

В таблице представлены данные авторов о содержании Cd в волосах здорового населения разных субъектов РФ. За период 2011–2021 гг. в научной литературе опубликованы результаты исследований по 19 субъектам РФ, что составляет 22,3% субъектов. Данные по 66 субъектам отсутствуют (рис. 2).

Из таблицы видно, что результаты выражены большей частью в виде медианы, реже в виде среднего значения, недостаточно данных по перцентильям, максимальным и ми-

нимальным значениям. Не все авторы ставили целью сравнения данные по полу, а также не везде указывали возраст обследуемых. По данным за 2011–2021 гг. установили, что максимальные значения (мг/кг) содержания Cd в волосах населения обнаружены у населения промышленного города Сибай (0,164) [51], коренного населения Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) (0,15) [52], Арктической зоны Республики Саха (0,14) [50], городов Сибирского федерального округа Томск и Горно-Алтайск (0,12 и 0,16) [40, 53, 54].

Второй вопрос: разработана ли для регионов России оценочная шкала верхнего уровня для интерпретации результатов. Во многих работах [1, 3, 40, 45, 46, 49, 54–63] авторы ссылаются на данные [64] о биологически допустимом уровне (БДУ) концентрации Cd в волосах рабочих, подвергшихся профессиональному воздействию металла. Под БДУ понимают предел физиологической адаптации к верхней границе концентрации микроэлемента, за пределами которой проявляются процессы нарушения гомеостаза [1, 55–64]. Согласно этим данным, верхний допустимый уровень составляет 0,3–0,5 мг/кг. В норме концентрация Cd в организме человека составляет 0,00 мг/кг, относительно нулевого значения популяционные показатели M и Me авторы рассматривают в качестве верхнего уровня диапазона нормы [3, 7, 33–35]. По данным многочисленных исследований [3, 47, 48, 55–63], показатели нормы для регионов России составляют 0–0,25 мг/кг.

Авторами в период 2013–2020 гг. опубликованы результаты исследований, проведённых в Магадане, Оренбургской области [47, 49, 55, 65–71], однако в работах не указан период сбора образцов волос, что не даёт возможности судить о спорадичности исследований или оценивать динамику. Если допустить, что сбор образцов волос проводили в разные периоды, то следует, что концентрация Cd в волосах населения Магадана за период с 2015 по 2020 г. по значениям Me сохраняется в пределах 0,01–0,04 мг/кг и не превышает допустимых значений (0,3–0,5 мг/кг).

Концентрация кадмия в волосах населения разных субъектов Российской Федерации
Cadmium concentration in hair of the population in different subjects of the Russian Federation

Регионы Region	Метод анализа Methods	Пол Gender*	Возраст, лет Age, years	n	Mean	Median	Q ₁	Q ₃	Min	Max	Ссылка Reference
Москва / Moscow Московская область / Moscow region	ИСП-МС ISP-MS	М	20–60	1524	0.063	0.015	0.004	0.168	–	–	
		Ж		4384	0.024	0.011	0.003	0.07	–	–	[49]
		М + Ж		5908	0.034	0.034	0.003	0.09	–	–	
Город Сибай (Республика Башкортостан) Sibay town Bashkortostan Republic	ИСП-МС ISP-MS	М	18–76	71	0.164	0.046	0.022	0.136	0.004	0.900	[51]
		Ж			0.109	0.015	0.015	0.296	0.010	0.315	
Республика Башкортостан Bashkortostan Republic	ИСП-МС ISP-MS	М	18–76	17	–	0.089	0.024	0.171	–	–	[45]
		Ж		66	–	0.020	0.011	0.047	–	–	
		М	25–50	514	–	0.075	0.033	0.19	–	–	[56]
		Ж		624	–	0.027	0.012	0.053	–	–	
ЯНАО Yamalo-Nenets Autonomous Region		–	19–58	–	0.0444	–	–	–	0.0061	0.159	[72]
коренное население indigenous population	ИСП-МС ISP-MS	М (n = 33)	38.3	81	0.15	0.14	0.08	0.21	–	–	[52]
		Ж (n = 48)									
некоренное население non-indigenous population		М (n = 40)	38.3	92	0.09	0.08	0.03	0.15	–	–	[52]
		Ж (n = 52)									
Город Горно-Алтайск Gorno-Altai town	ААС AAS	–	21–50	87	0.16	–	–	–	0.000	0.40	[40]
		–	17–50	52	–	0.14	–	–	–	–	[54]
Город Томск / Tomsk town	ИВА / IVA	–	–	15	0.12	–	–	–	–	–	[53]
Город Ярославль Yaroslavl town	ИСП-МС ISP-MS	М	19.9	54	0.033	0.019	0.008	0.040	0.002	0.37	[48]
		Ж	20.0	59	0.016	0.01	0.007	0.019	0.0018	0.068	
Республика Татарстан Tatarstan Republic	ИСП-МС ISP-MS	М	25–50	460	–	0.031	0.015	0.069	–	–	[1]
		Ж		1667	–	0.023	0.013	0.044	–	–	
Приволжский федеральный округ Volga Federal District	ИСП-МС ISP-MS	М	25–50	460	–	0.052	0.022	0.135	–	–	[1]
		Ж		1667	–	0.021	0.011	0.043	–	–	
Оренбургская область Orenburg region	ИСП-МС ISP-MS	–	8–65	1748	0.07	–	0.019	0.12	0.0001	7.02	[55]
		М	22–35	510	–	0.075	0.038	0.155	–	–	[47]
		Ж	22–35	719	–	0.020	0.010	0.039	–	–	[47]
		М	10–59	438	–	0.066	0.030	0.148	–	–	[59]
		Ж	10–59	618	–	0.024	0.013	0.048	–	–	[59]
		–	–	250	0.04	–	–	–	–	–	[66]
		М	22–50	1049	0.094	0.027	–	–	0.004	0.51	[67]
		Ж	22–50	1106	0.097	0.024	–	–	0.003	0.52	[67]
Зоны Оренбургской области: Zones of Orenburg region:											
Центральная / Central	ИСП-МС ISP-MS		19–23	126	0.05	–	–	–	–	–	[65]
Восточная / East		М (n = 33)	19–23	53	0.05	–	–	–	–	–	[65]
Западная / West		Ж (n = 166)	19–23	20	0.04	–	–	–	–	–	[65]
Город Магадан: Magadan town:		М	17–23	30	–	0.016	0.007	0.050	–	–	[68]
		–	80	25	–	0.014	0.006	0.047	–	–	[70]
европейцы europeans	ИСП-МС ISP-MS	М	17–37	200	–	0.019	0.01	0.05	–	–	[69]
		Ж		200	–	0.01	0.01	0.02	–	–	
аборигены aborigines		М		55	–	0.031	0.01	0.05	–	–	[71]
		Ж		55	–	0.013	0.01	0.03	–	–	
метисы mestizos		М		75	–	0.04	–	–	–	–	[71]
		Ж		75	–	0.01	–	–	–	–	

Продолжение Таблицы на стр. 45 / Continuation of the Table on the page 45.

Продолжение Таблицы. Начало на стр. 44 / Continuation of the Table. Beginning on the page 44.

Регионы Region	Метод анализа Methods	Пол Gender*	Возраст, лет Age, years	n	Mean	Median	Q ₁	Q ₃	Min	Max	Ссылка Reference
Город Архангельск Arkhangelsk town	ИСП-МС ISP-MS	–	87	25	–	0.015	0.011	0.022	–	–	[70]
Город Сургут Surgut town	ИСП-МС ISP-MS	–	15–55	350	–	–	0.02	0.09	–	–	[73]
Город Омск Omsk town	ИСП-МС ISP-MS	–		385	–	–	0.01	0.06	–	–	[73]
ХМАО Khanty Mansi Autonomous Okrug	ИСП-МС ISP-MS	М	18–60	348	0.050	0.04	0.015	0.06	–	–	[46]
		Ж		863	0.02	0.02	0.013	0.04	–	–	
Город Южно-Сахалинск Yuzhno Sakhalinsk town	ИСП-МС ISP-MS	М	51	67	0.057	0.029	0.017	0.057	–	–	[61]
		Ж	51	186		0.015	0.007	0.035	–	–	
Город Уфа / Ufa town	ААС / AAS	–	–	224	0.04	–	–	–	–	–	[61]
Республика Бурятия Buryatia Republic	ИСП-МС ISP-MS	М	25–50	28	0.063	0.036	0.022	0.064	–	–	[74]
		Ж		102	0.022	0.014	0.008	0.029	–	–	
Город Киров Kirov town	ИСП-МС ISP-MS	М	22–50	73	–	0.025	0.015	0.059	–	–	[57]
		Ж		222	–	0.019	0.01	0.039	–	–	
Город Анадырь: / Anadyr town:											
аборигены / aborigines	ИСП-МС ISP-MS	–	17.8	12	–	0.014	0.009	0.076	–	–	[75]
европейцы / europeans		–	16.9	12	–	0.011	0.008	0.016	–	–	
Зоны Республики Саха (Якутия): Zones of Sakha Republic (Yakutia)											
Арктическая / Arctic		Ж	–	61	0.14	–	–	–	–	–	[50]
Западная / West		Ж	–	120	0.06	–	–	–	–	–	
Южная / South	ИСП-МС ISP-MS	Ж	–	151	0.03	–	–	–	–	–	
Центральная / Central		Ж	–	121	0.04	–	–	–	–	–	
Якутск / Yakutsk		Ж	–	102	0.08	–	–	–	–	–	

Примечание. ААС – атомно-абсорбционная спектрометрия; ИСП-МС – индуктивно связанная плазменная масс-спектрометрия; ИВА – инверсионная вольтамперометрия.

Note. * М – men; Ж – female. AAS – atomic absorption spectrometry. ISP-MS – inductively coupled plasma mass spectrometry, IVA – anodic stripping voltammetry.

Значения, полученные во всех регионах, в основном не выходят за пределы БДУ (0,3–0,5 мг/кг) и не превышают референтных (0–0,25 мг/кг). Однако показатели max превышали БДУ (мг/кг) в Республике Башкортостан (0,9) [51], г. Ярославле (0,37) [48], Оренбургской области (7,02; 0,52; 0,51) [55, 67] и в г. Горно-Алтайске (0,4) [40]. Из таблицы видно, что не все авторы в своих работах указывают значения перцентилей и max, поэтому перечень регионов, где встречаются превышения, мог бы быть шире.

В результате проведенного анализа нами установлено, что у населения разных регионов России эталонные значения концентрации Cd в волосах составляют 0–0,164 мг/кг, а максимальные значения достигают уровня от 0,31 мг/кг [51] до 7,02 мг/кг [55]. По данным [66, 67], в Оренбургской области в 2013 г. концентрация Cd в волосах населения составила 0,4 мг/кг, а в 2019 г. – 0,94 мг/кг, следовательно, за шестилетний период показатель увеличился на 0,054 мг/кг.

Прослеживается слабая закономерность зависимости концентрации Cd в волосах от промышленной нагрузки региона. Известно, что ХМАО – Югра, ЯНАО, Республика Башкортостан, Оренбургская область входят в число самых экологически загрязненных регионов России. По данным [45–74], у здоровой части взрослого населения, не подвергающегося профессиональному воздействию, в указанных регионах концентрация Cd не превышает БДУ.

В своих исследованиях авторы использовали следующие приборы: для ИСП-МС – ELAN 9000 (Perkin Elmer Corp., SCIEX, Канада) [1, 45, 46, 50–52, 55, 57, 58, 70, 71, 74, 75]; NexION 300D (PerkinElmer Inc., Шелтон, Коннектикут 06484, США) [48, 49, 59, 60, 61, 63]; ICP-9000 ThermoJarrellAsh, США [66, 67]; для ААС – «Квант-2», Россия [40, 54]; для ИВА – Комплекс аналитический вольтамперометрический СТА, Россия [53]. В работах [52, 65, 72, 73] не указано, с помощью каких приборов производили анализ. Таким образом, в корпус анализируемых нами данных вошли разные методы анализа, что может сказаться на сравнимости результатов.

Интерпретация результатов по содержанию Cd в волосах при индивидуальной оценке каждого образца требует определения территориальных референтных значений. По данным литературы, верхний уровень этих показателей может отличаться в зависимости от района обследования [7, 33–35, 41–44, 60, 63, 64].

В проанализированных работах авторы применяли гомогенные методы пробоподготовки (озоление волос в HNO₃ или в смеси HNO₃ и H₂O₂ при температуре плюс 135–450 °С) и гетерогенные методы анализа – вольтамперометрический метод (ИВ), атомно-абсорбционную спектрометрию (ААС), индуктивно связанную плазменную масс-спектрометрию (ИСП-МС). В большинстве случаев

(17 источников) анализ проведён в Центре биотической медицины (Москва), где применяется метод ИСП-МС, а в регионах производили лишь сбор образцов волос. Методы ААС и ИВ являются высокочувствительными, но в отличие от ИСП-МС они ограничены в возможности определения многих элементов одновременно (лишь 4–5 элементов за один сеанс).

Не вызывает сомнений валидность каждого метода в отдельности, они широко применяются в отечественной [3, 45–63, 65–71] и зарубежной науке и признаются высокочувствительными и надёжными [76]. Однако при сравнении результатов, полученных при гетерогенном анализе, возможны отклонения. В случае применения разных методов требуется проверка соответствия. Из таблицы видно, что количественный состав выборок имеет достаточно большой разброс: от 12 до 2793 образцов. Столь разный подход исследователей объясняется, по всей видимости, несколькими причинами.

Во-первых, сложно получить добровольное информированное согласие на исследование со стороны большей части населения из-за различных предубеждений, отсутствия интереса к результатам исследования. Вероятно, жёсткие критерии исключения (отсутствие заболеваний, вредной привычки табакокурения, приём лекарственных препаратов и витаминных комплексов, натуральное состояние волос), которые применяются в некоторых исследованиях, значительно сокращают число добровольцев.

Во-вторых, процесс пробоподготовки является весьма трудоёмким. Поэтапное растворение волос в азотной кислоте или смеси азотной кислоты и пероксида водорода занимает несколько часов. При этом для достоверности результата каждый образец необходимо продублировать в двух-трёх повторностях, чтобы после анализа определить среднее значение. Сухое озоление (разложение волос в термостатах без растворителей) значительно сокращает время пробоподготовки, но увеличивает потери микроэлементов и снижает достоверность.

Многие авторы результаты своих исследований, выполненных даже с небольшой выборкой, публикуют в изданиях с невысокими требованиями к числу наблюдений. Низкий процент включённых в исследование испытуемых от генеральной совокупности не отражает полной вариативности значений концентрации Cd в волосах, увеличивает вероятность случайной ошибки.

Недостаток необходимой информации для систематического обзора в разделе «Материалы и методы» многих публикаций позволяет выделить определённые пробелы. Следовательно, к описанию методики при представлении результатов подобных исследований необходимо предъявлять следующие требования: указывать год сбора образцов волос, критерии включения и исключения при формировании выборки (возраст, пол, состояние здоровья, приём препаратов, состояние волос, период проживания в исследуемом регионе и др.), тип исследования (мониторинговое или одномоментное, поперечное или продольное), указывать количественный состав выборок, описывать метод пробоподготовки, метод анализа с названием анализатора.

Данные по Магадану, Оренбургской области за период 2013–2020 гг., вероятно, носят одномоментный характер, и авторы публикуют результаты исследований в разных изданиях, изменяя состав соавторов. Данные о концентрации токсиканта в динамике, полученные при мониторинговом исследовании, имели бы большую ценность.

Ограниченные данные по результатам метаанализа во многих публикациях свидетельствуют о необходимости разработки общих критериев для представления данных об элементном составе биоматериалов: среднее значение, мода, медиана (Q_1 , Q_3), \min и \max . Графическое представление характера распределения данных при достаточном объёме выборки также даёт полную картину вариативности, наибольшей частоты встречаемости определённого показателя.

Ограничением многих исследований является отсутствие данных о содержании Cd в вероятных источниках поступления микроэлемента в организм человека. Известно, что наиболее вероятный путь поступления – алиментарный. Возможным путём является ингаляционный. Поэтому дополнением к данным о содержании Cd в волосах или иных биоматериалах человека служат показатели содержания Cd в водопроводной воде, основных продуктах питания, потребительской корзины, природных адсорбентах (снег, почва) и в биотическом звене (растения, животные). Однако результаты исследований содержания Cd в волосах и в разных звеньях аэрогеоботической цепи публикуются фрагментарно без расчёта аппроксимации.

Представленные данные не дают полной картины присутствия Cd в волосах населения для картирования по всем регионам России. За период 2011–2021 гг. обследовано лишь 22,35% всех субъектов РФ. В литературе содержание Cd в организме человека представлено в различных тканях (кровь, ногти) [3, 77] и рассмотрено в связи с различной патологией [61]. Много работ посвящено изучению содержания Cd в волосах детей [3, 59, 77, 78]. В данном исследовании нами рассмотрено содержание Cd только в волосах здоровых взрослых людей, что значительно ограничило количество работ по регионам России.

У лиц с избыточной массой тела [61] и офисных работников нефтехимической промышленности [62] концентрация Cd не отличалась от значений контрольной группы, у беременных женщин отмечалось снижение концентрации Cd в зависимости от возраста [63]. У работников алюминиевого завода концентрация Cd в волосах по сравнению с контрольной группой была выше в два раза [64]. Проживание вблизи цементного завода г. Вольска Саратовской области приводит к значительному накоплению Cd в волосах (0,89 мкг/г) [77]. Следовательно, профессиональное воздействие и проживание вблизи источников выбросов Cd вызывают существенное накопление Cd в волосах человека.

Данные о содержании Cd в волосах населения ближнего и дальнего зарубежья (мг/кг): Китай – до 0,3 [7]; Италия – до 0,23 [33]; Азербайджан (Баку) – 0,19 [79]; Индия – до 0,13 [34]; Испания – до 0,022 [35]; Беларусь (Минск) – 0,014 [80]; Казахстан – 0,011 [81]. Россия в этом перечне, по всей видимости, занимает промежуточное место (Оренбург – Q_3 0,12, \max 7,04; Башкортостан – Q_3 0,17, \max 0,54; общероссийские показатели – 0–0,25).

Заключение

Для картирования значений концентрации Cd в волосах взрослого населения Российской Федерации за период 2011–2021 гг. необходимы данные по 66 субъектам, включение которых в систематические обзоры будет возможно при соблюдении общих рекомендаций по репрезентативности и достаточности выборочных совокупностей и подробному представлению методологии исследования для обеспечения воспроизводимости и сравнимости результатов.

Литература

(п.п. 2–18, 20, 21, 24–39, 41–44, 47–50, 58–63, 76 см. References)

- Агаджанян Н.А., Скальный А.В., Березкина Е.С., Демидов В.А., Грабеллис А.Р., Скальная М.Г. Референтные значения содержания химических элементов в волосах взрослых жителей Республики Татарстан. *Экология человека*. 2016; (4): 38–44. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-4-38-44>
- Мелентьев Г.Б., Малнина Е.Н. Угольное сырье и отходы его переработки как источник промышленно ценных и токсичных элемен-

- тов-примесей: состояние изученности и перспективы комплексного использования в интенсификации и экологизации углепотребления. *Экология промышленного производства*. 2008; (3): 41–53.
- Шенченко С.И., Шевченко О.Г. Источники поступления тяжелых металлов в атмосферу. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2011; (18): 35–7.

Review article

23. Морозова Т.С., Колесниченко Е.Ю. Агроэкологическая оценка систематического применения удобрений на накопление кадмия и свинца в черномезе типичном. *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2019; (4): 226–35.
40. Чанчаева Е.А., Лапин В.С., Сухова М.Г., Куриленко Т.К., Айзман Р.И. Референтные значения концентрации кадмия в волосах жителей Горного Алтая. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(4): 307–12. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-307-312>
45. Рафикова Ю.С., Семенова И.Н., Хасанова Р.Ф., Суюндуков Я.Т. Уровни содержания кадмия и свинца в волосах населения Зауральской зоны Республики Башкортостан. *Экология человека*. 2020; (1): 17–24. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-1-17-24>
46. Корчина Т.Я., Корчин В.И., Сухарева А.С., Сафарова О.А., Черепанова К.А., Богданович А.Б. и др. Элементный статус взрослых некоренных жителей Ханты-Мансийского автономного округа. *Экология человека*. 2019; (10): 33–40. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-10-33-40>
51. Семенова И.Н., Рафикова Ю.С., Суюндуков Я.Т., Рафиков С.Ш., Биктимерова Г.Я. Содержание токсичных микроэлементов в волосах взрослого населения Башкирского Зауралья. *Современные проблемы науки и образования*. 2016; (6): 517.
52. Бикбулатова Л.Н. Элементный статус взрослого населения Ямало-Ненецкого автономного округа. *Журнал медико-биологических исследований*. 2021; 9(3): 248–57. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z062>
53. Юрмазова Т.А., Шахова Н.Б., Рязанова Т.А. Использование физико-химических методов анализа в определении химического состава биосубстратов. *Современные проблемы науки и образования*. 2014; (6): 1796.
54. Чанчаева Е.А., Лапин В.С., Кузнецова О.В., Куриленко Т.К., Айзман Р.И. Оценка эколого-гигиенических условий подготовки спортсменов в г. Горно-Алтайске. *Человек. Спорт. Медицина*. 2021; (4): 7–13. <https://doi.org/10.14529/hsm210401>
55. Скальный А.В., Мирошников С.А., Нотова С.В., Болодурина И.П., Мирошников С.В., Алиджанова И.Э. Региональные особенности элементного гомеостаза как показатель эколого-физиологической адаптации. *Экология человека*. 2014; (9): 14–7.
56. Скальный А.В., Березкина Е.С., Демидов В.А., Грабелкис А.Р., Скальная М.Г. Эколого-физиологическая оценка элементного статуса взрослого населения Республики Башкортостан. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(6): 533–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-6-533-538>
57. Скальная М.Г., Грабелкис А.Р., Скальный А.А., Айсувакова О.П., Лобанова Ю.Н., Серебрянский Е.П. и др. Оценка элементного статуса населения Кировской области методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(3): 309–16. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-309-316>
64. Любченко П.С., Ревич Б.А., Левченко И.И. Методические рекомендации (МЗ СССР 28.11.1988). Скрининговые методы для выявления групп повышенного риска среди рабочих, контактирующих с токсичными химическими элементами. М.: 1988.
65. Баранова О.В., Брудастов Ю.А., Детков В.Ю., Мироненко А.Н. Оценка содержания микроэлементов в волосах жителей региона с повышенной антропогенной нагрузкой. *Вестник восстановительной медицины*. 2013; (2): 64–6.
66. Сальникова Е.В., Осипова Е.А., Скальный А.В., Бурцева Т.И., Болдырева О.И. Влияние поступления микроэлементов из биосферы на элементный статус человека. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2013; (10): 21–4.
67. Сальникова Е.В., Бурцева Т.И., Скальный А.В. Микроэлементный статус населения Оренбургской области. *Экология человека*. 2019; (1): 10–4. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-1-10-14>
68. Луговая Е.А., Степанова Е.М. Особенности состава питьевой воды Магадана и здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(3): 241–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-241-246>
69. Горбачев А.Л., Луговая Е.А. Элементный профиль организма аборигенных жителей Северо-Востока России. *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*. 2015; (1): 86–94.
70. Горбачев А.Л., Луговая Е.А., Степанова Е.М. Микроэлементный профиль людей старческого возраста европейского и азиатского Севера России. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(5): 432–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-5-432-444>
71. Луговая Е.А., Степанова Е.М. Оценка нутриентной обеспеченности жителей Севера с учетом содержания макро- и микроэлементов в пищевых продуктах. *Вопросы питания*. 2015; 84(2): 44–52.
72. Агбалян Е.В., Шинкарук Е.В., Попова Т.Л., Максименко Ю.И. Эссенциальные и токсичные элементы в биосубстратах жителей полуострова Ямал. *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. 2019; (3): 35–45. <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2019.104.3.007>
73. Вильмс Е.А., Гогодзе Н.В., Турчанинов Д.В., Корчина Т.Я. Сравнительный анализ микроэлементного состава волос городских жителей Западной Сибири. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(7): 99–103.
74. Тармаева И.Ю., Скальный А.В., Богданова О.Г., Грабелкис А.Р., Белых А.И. Элементный статус взрослого трудоспособного населения Республики Бурятия. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(5): 308–13. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-308-313>
75. Степанова И.Н., Луговая Е.А. Характеристика микроэлементного баланса у юношей-аборигенов и европеоидов – постоянных жителей Чукотского автономного округа. *Экология человека*. 2019; (12): 14–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-12-14-19>
77. Кудин М.В. Микроэлементный состав волос и ногтей у детей, проживающих в условиях воздействия цементной пыли. *Вопросы детской диетологии*. 2010; 8(6): 47–50.
78. Савченков О.В. Влияние загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами на здоровье детей дошкольного возраста. *Экология человека*. 2018; (3): 16–20. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-3-16-20>
79. Казимов М.А., Алиева Н.В. Изучение и гигиеническая оценка риска для здоровья от присутствия тяжелых металлов в продуктах питания. *Казанский медицинский журнал*. 2014; 95(5): 706–9.
80. Матвейко Н.П., Протасов С.К., Садовский В.В. Определение тяжелых металлов в волосах человека. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2013; (2): 95–8.
81. Батырова Г.А., Тлегунова Ж.Ш., Умарова Г.А., Кононец В.И., Умаров Е.А., Кудабаяева Х.И. и др. Микроэлементный статус взрослого населения Западного Казахстана. *Экология человека*. 2021; (11): 42–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-11-42-49>
82. Ларионова Т.К., Даукаев Р.А., Аллаярова Г.Р., Адиева Г.Ф., Печерская В.Л. Оценка обеспеченности организма жителей Уфы макро- и микроэлементами по составу биологических сред. *Медицина труда и экология человека*. 2016; (3): 56–60.

References

1. Agadzhanyan N.A., Skal'nyy A.V., Berezkina E.S., Demidov V.A., Grabeklis A.R., Skal'naya M.G. Reference values for chemical elements concentration in hair of adults in the Republic of Tatarstan. *Ekologiya cheloveka*. 2016; (4): 38–44. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-4-38-44> (in Russian)
2. Li Y., Zhang B., Li H., Yang L., Ye B., Wang W., et al. Biomarkers of lead exposure among a population under environmental stress. *Biol. Trace Elem. Res.* 2013; 153(1–3): 50–7. <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9648-1>
3. Skalny A.V., Grabeklis A.R., Tinkov A.A., Nikonov A.A., Zhukovskaya E.V., Kireeva G.N., et al. Whole blood and hair trace elements and minerals in children living in metal-polluted area near copper smelter in Karabash Chelyabinsk region, Russia. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018; 25(3): 2014–20. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7876-6>
4. Olumayede E.G., Edigbonyia T.F. Sequential extractions and toxicity potential of trace metals absorbed into airborne particles in an urban atmosphere of Southwestern Nigeria. *ScientificWorldJournal*. 2018; 2018: 6852165. <https://doi.org/10.1155/2018/6852165>
5. Kumar S., Sharma A. Cadmium toxicity: effects on human reproduction and fertility. *Rev. Environ. Health*. 2019; (34): 327–38. <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0016>
6. Krupnova T.G., Rakova O.V., Gavrilkina S.V., Antoshkina E.G., Baranov E.O., Yakimova O.N. Road dust trace elements contamination, sources, dispersed composition, and human health risk in Chelyabinsk, Russia. *Chemosphere*. 2020; 261: 127799. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127799>
7. Du B., Zhou J., Lu B., Zhang C. Environmental and human health risks from cadmium exposure near an active lead-zinc mine and a copper smelter, China. *Sci. Total Environ.* 2020; 720: 137585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137585>
8. Rafati Rahimzadeh M., Rafati Rahimzadeh M., Kazemi S., Moghadamnia A.A. Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian J. Intern. Med.* 2017; 8(3): 135–45. <https://doi.org/10.22088/cjim.8.3.135>
9. Chowdhury R., Ramond A., O'Keefe L.M., Shahzad S., Kunutsor S.K., Muka T., et al. Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2018; 362: k3310. <https://doi.org/10.1136/bmj.k3310>
10. Wang M., Chen Z., Song W., Hong D., Huang L., Li Y. A review on cadmium exposure in the population and intervention strategies against cadmium toxicity. *Bull Environ. Contam. Toxicol.* 2021; 106(1): 65–74. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03088-1>
11. Wang S., Kaur M., Li T., Pan F. Effect of different pollution parameters and chemical components of PM(2.5) on health of residents of Xinxiang City, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021; 18(13): 6821. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136821>
12. Gao X., Ji B., Yan D., Huang Q., Zhu X. A full-scale study on thermal degradation of polychlorinated dibenzo- p-dioxins and dibenzofurans in municipal solid waste incinerator fly ash and its secondary air pollution control in China. *Waste Manag. Res.* 2017; 35(4): 437–43. <https://doi.org/10.1177/0734242X16677078>
13. Kazimirova A., Peikertova P., Barancokova M., Staruchova M., Tulinska J., Vaculik M., et al. Automotive airborne brake wear debris nanoparticles and cytokinesis-block micronucleus assay in peripheral blood lymphocytes: A pilot study. *Environ. Res.* 2016; 148: 443–9. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.04.022>
14. Di Ciaula A. Bioaccumulation of toxic metals in children exposed to urban pollution and to cement plant emissions. *Expo Health*. 2021; 13(4): 681–95. <https://doi.org/10.1007/s12403-021-00412-w>
15. Akram R., Natasha F.S., Hashmi M.Z., Wahid A., Adnan M., Mubeen M., et al. Trends of electronic waste pollution and its impact on the global environment and ecosystem. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2019; 26(17): 16923–38. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04998-2>
16. Schuhmacher M., Bellés M., Rico A., Domingo J.L., Corbella J. Impact of reduction of lead in gasoline on the blood and hair lead levels in the population of Tarragona Province, Spain, 1990–1995. *Sci. Total Environ.* 1996; 184(3): 203–9. <https://doi.org/10.1007/s001289900561>

17. Michalak I., Wołowicz P., Chojnacka K. Determination of exposure to lead of subjects from southwestern Poland by human hair analysis. *Environ. Monit. Assess.* 2014; 186(4): 2259–67. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3534-3>
18. Yao Z.T., Ji X.S., Sarker P.K., Tang J.H., Ge L.Q., Xia M.S., et al. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth Sci. Rev.* 2015; 141: 105–21. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.016>
19. Melent'ev G.B., Malinina E.N. Coal raw materials and waste of its processing as a source of industrially valuable and toxic elements-impurities: state of knowledge and prospects for integrated use in the intensification and greening of coal consumption. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva.* 2008; (3): 41–53. (in Russian)
20. Albina D.O., Themelis N.J. Emissions from Waste-to-Energy: A Comparison with Coal-fired Power Plants. In: *IMECE'03 2003 ASME International Mechanical Engineering Congress*, November 16–21; 2003. <https://doi.org/10.1115/IMECE2003-55295>
21. Shaw E.J., Turner A. Recycled electronic plastic and marine litter. *Sci. Total Environ.* 2019; 694: 133644. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133644>
22. Snezhko S.I., Shevchenko O.G. Emission sources of heavy metals to the atmosphere. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta.* 2011; (18): 35–7. (in Russian)
23. Morozova T.S., Kolesnichenko E.Yu. Agri-environmental impact assessment of systematic application of fertilizers on the accumulation of cadmium and lead in the typical chernozem. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy.* 2019; (4): 226–35. (in Russian)
24. Wang B., Du Y. Cadmium and its neurotoxic effects. *Oxid. Med. Cell Longev.* 2013; 898034. <https://doi.org/10.1155/2013/898034>
25. Matović V., Buha A., Đukić-Cosić D., Bulat Z. Insight into the oxidative stress induced by lead and/or cadmium in blood, liver and kidneys. *Food Chem. Toxicol.* 2015; 78: 130–40. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.02.011>
26. Jalili C., Kazemi M., Taheri E., Mohammadi H., Boozari B., Hadi A., et al. Exposure to heavy metals and the risk of osteopenia or osteoporosis: a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos. Int.* 2020; 31(9): 1671–82. <https://doi.org/10.1007/s00198-020-05429-6>
27. Farkhondeh T., Naseri K., Esform A., Aramjoo H., Naghizadeh A. Drinking water heavy metal toxicity and chronic kidney diseases: a systematic review. *Rev. Environ. Health.* 2020; 36(3): 359–6. <https://doi.org/10.1515/revh-2020-0110>
28. Filippini T., Wise L.A., Vinceti M. Cadmium exposure and risk of diabetes and prediabetes: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Environ. Int.* 2022; 158: 106920. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106920>
29. Mitra P., Sharma S., Purohit P., Sharma P. Clinical and molecular aspects of lead toxicity: An update. *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.* 2017; 54(7–8): 506–28. <https://doi.org/10.1080/10408363.2017.1408562>
30. Choi S., Kwon J., Kwon P., Lee C., Jang S.I. Association between blood heavy metal levels and predicted 10-year risk for a first atherosclerosis cardiovascular disease in the general Korean population. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020; 17(6): 2134. <https://doi.org/10.3390/ijerph17062134>
31. Protosenko Y.L., Klinova S.V., Gerzen O.P., Privalova L.I., Minigalieva I.A., Balakin A.A., et al. Changes in rat myocardium contractility under subchronic intoxication with lead and cadmium salts administered alone or in combination. *Toxicol. Rep.* 2020; 7: 433–42. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.03.001>
32. Amini M., Zayeri F., Salehi M. Trend analysis of cardiovascular disease mortality, incidence, and mortality-to-incidence ratio: results from global burden of disease study 2017. *BMC Public Health.* 2021; 21(1): 401. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10429-0>
33. Senofonte O., Violante N., Caroli S. Assessment of reference values for elements in human hair of urban schoolboys. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2000; 14(1): 6–13. [https://doi.org/10.1016/s0946-672x\(00\)80017-6](https://doi.org/10.1016/s0946-672x(00)80017-6)
34. Samanta G., Sharma R., Roychowdhury T., Chakraborti D. Arsenic and other elements in hair, nails, and skin-scales of arsenic victims in West Bengal, India. *Sci. Total Environ.* 2004; 326(1–3): 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.12.006>
35. González-Muñoz M.J., Peña A., Meseguer I. Monitoring heavy metal contents in food and hair in a sample of young Spanish subjects. *Food Chem. Toxicol.* 2008; 46(9): 3048–52. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.06.004>
36. Batzевич V.A. Hair trace element analysis in human ecology studies. *Sci. Total Environ.* 1995; 164(2): 89–98. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)91020-4](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)91020-4)
37. Hopps H.C. The biologic bases for using hair and nail for analysis of trace elements. *Sci. Total Environ.* 1977; 7(1): 71–89. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(77\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(77)90018-3)
38. Buononato E.V. Assessment of environmental and occupational exposure to heavy metals in Taranto and other provinces of Southern Italy by mean of scalp hair analysis. *Environ. Monit. Assess.* 2016; 188(6): 337. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5311-6>
39. Molina-Villalba I., Lacasaña M., Rodríguez-Barranco M., Hernández A.F., González-Alzaga B., Aguilar-Garduño C., et al. Biomonitoring of arsenic, cadmium, lead, manganese and mercury in urine and hair of children living near mining and industrial areas. *Chemosphere.* 2015; 124: 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.11.016>
40. Chanchaeva E.A., Lapin V.S., Sukhova M.G., Kurilenko T.K., Ayzman R.I. Reference values of cadmium concentration in the hair of residents of the Gornyy Altai. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2021; 100(4): 307–12. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-307-312> (in Russian)
41. Kist A.A., Zhuk L.I., Danilova E.A., Mikholskaya I.N. Mapping of ecologically unfavorable territories based on human hair composition. *Biol. Trace Elem. Res.* 1998; 64(1–3): 1–12. <https://doi.org/10.1007/BF02783320>
42. Mikulewicz M., Chojnacka K.W., Gedrange T., Górecki H. Reference values of elements in human hair: A systematic review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2013; 36(3): 1077–86. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.09.012>
43. Abdelbagi M.A., Gilani Mustafa M.A., Sharf Eldeen A.E. Concentrations of trace elements in human hair as a biomarker expose to environmental contamination. *Int. J. Sci. Res. Inn. Tech.* 2017; 4(2): 2.
44. Liu W., Xin Y., Li Q., Shang Y., Ping Z., Min J., et al. Biomarkers of environmental manganese exposure and associations with childhood neurodevelopment: a systematic review and meta-analysis. *Environ. Health.* 2020, 19(1): 104. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00659-x>
45. Rafikova Yu.S., Semenova I.N., Khasanova R.F., Suyundukov Ya.T. Cadmium and lead concentrations in human hair in the Trans-Urals region of Bashkortostan Republic. *Ekologiya cheloveka.* 2020; (1): 17–24. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-1-17-24> (in Russian)
46. Korchina T.Ya., Korchin V.I., Sukhareva A.S., Safarova O.A., Cherepanova K.A., Bogdanovich A.B., et al. Elemental status of adult non-indigenous population of Khanty-Mansi Autonomous region. *Ekologiya cheloveka.* 2019; (10): 33–40. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-10-33-40> (in Russian)
47. Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Demidov V.A., Serebryansky E.P., Nikonov A.A., Skalny A.V. Hair toxic element content in adult men and women in relation to body mass index. *Biol. Trace Elem. Res.* 2014; 161(1): 13–9. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0082-9>
48. Zaitseva I.P., Skalny A.A., Tinkov A.A., Berezkina B.B., Grabeklis A.R., Skalny A.V. The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students. *Biol. Trace Elem. Res.* 2014; 163(1–2): 58–66. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0172-8>
49. Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Serebryansky E.P., Demidov V.A., Lobanova Y.N., et al. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2015; 40(1): 18–21. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.05.004>
50. Petrova P.G., Borisova N.V., Koltovskaya G.A. The hypo- and hyperelementosis to women of the Republic of Sakha (Yakutia). *Wiad. Lek.* 2018; 71(4): 824–9.
51. Semenova I.N., Rafikova Yu.S., Suyundukov Ya.T., Rafikov S.Sh., Biktimerova G.Ya. Content of toxic trace elements in hairs adult population Trans-Urals of Bashkortostan. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2016; (6): 517. (in Russian)
52. Bikbulatova L.N. Elemental status of the adult population of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy.* 2021; 9(3): 248–57. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-T062> (in Russian)
53. Yurmazova T.A., Shakhova N.B., Ryazanova T.A. Use of physicochemical methods of analysis in the determination of the chemical composition of biological substrates. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2014; (6): 1796. (in Russian)
54. Chanchaeva E.A., Lapin V.S., Kuznetsova O.V., Kurilenko T.K., Ayzman R.I. Assessment of ecological and hygienic conditions of training in Gorno-Altai. *Chelovek. Sport. Meditsina.* 2021; (4): 7–13. <https://doi.org/10.14529/hsm210401> (in Russian)
55. Skal'nyy A.V., Miroshnikov S.A., Notova S.V., Bolodurina I.P., Miroshnikov S.V., Alidzhanova I.E. Regional features of the elemental homeostasis as an indicator of ecological and physiological adaptation. *Ekologiya cheloveka.* 2014; (9): 14–7. (in Russian)
56. Skal'nyy A.V., Berezkina E.S., Demidov V.A., Grabeklis A.R., Skalnaya M.G. Ecological and physiological assessment of the elemental status in the adult population of the Republic of Bashkortostan. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2016; 95(6): 533–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-6-533-538> (in Russian)
57. Skal'naya M.G., Grabeklis A.R., Skal'nyy A.A., Aysuvakova O.P., Lobanova Yu.N., Serebryansky E.P., et al. Elementary status evaluation of Kirov region's population by method of mass spectrometry with inductively coupled plasma. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2020; 99(3): 309–16. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-309-316> (in Russian)
58. Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Demidov V.A., Serebryansky E.P., Nikonov A.A., Skalny A.V. Age-related differences in hair trace elements: a cross-sectional study in Orenburg, Russia. *Ann. Hum. Biol.* 2016; 43(5): 438–44. <https://doi.org/10.3109/03014460.2015.1071424>
59. Skalny A.V., Skalnaya M.G., Serebryansky E.P., Zhegalova I.V., Grabeklis A.R., Skalnaya O.A., et al. Comparative hair trace element profile in the population of Sakhalin and Taiwan Pacific Islands. *Biol. Trace Elem. Res.* 2018; 184(2): 308–16. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1204-y>
60. Skalnaya M.G., Skalny A.V., Grabeklis A.R., Serebryansky E.P., Demidov V.A., Tinkov A.A. Hair trace elements in overweight and obese adults in association with metabolic parameters. *Biol. Trace Elem. Res.* 2018; 186(1): 12–20. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1282-5>
61. Skalny A.V., Kaminskaya G.A., Krekesheva T.I., Abikenova S.K., Skalnaya M.G., Berezkina E.S., et al. The level of toxic and essential trace elements in hair of petrochemical workers involved in different technological processes. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2017; 24(6): 5576–84. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8315-4>
62. Skalny A.V., Tinkov A.A., Voronina I., Terekhina O., Skalnaya M.G., Bohan T.G., et al. The impact of lifestyle factors on age-related differences in hair trace element content in pregnant women in the third trimester. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 2018; 17(1): 83–9. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.0539>
63. Skalny A.V., Kaminskaya G.A., Krekesheva T.I., Abikenova S.K., Skalnaya M.G., Bykov A.T., et al. Assessment of hair metal levels in aluminium plant workers using scalp hair ICP-DRC-MS analysis. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2018; 50: 658–63. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.06.014>
64. Lyubchenko P.N., Revich B.A., Levchenko I.I. Guidelines (MH of the USSR 28.11.1988): Screening methods for identifying high-risk groups among workers in contact with toxic chemical elements. Moscow; 1989. (in Russian)

Review article

65. Baranova O.V., Brudastov Yu.A., Detkov V.Yu., Mironenko A.N. Evaluation of content of trace elements in the hair of people in the region with increased human pressure. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny*. 2013; (2): 64–6. (in Russian)
66. Sal'nikova E.V., Osipova E.A., Skal'nyy A.V., Burtseva T.I., Boldyreva O.I. Effects of exposure to trace elements of biosphere element status of human abstract. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013; (10): 21–4. (in Russian)
67. Sal'nikova E.V., Burtseva T.I., Skal'nyy A.V. Microelement status of the Orenburg region population. *Ekologiya cheloveka*. 2019; (1): 10–4. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-1-10-14> (in Russian)
68. Lugovaya E.A., Stepanova E.M. Features of the content of drinking water in the city of Magadan and population health. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(3): 241–6. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-241-246> (in Russian)
69. Gorbachev A.L., Lugovaya E.A. Trace element profile typical for aboriginal residents of Russia's Northeast. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*. 2015; (1): 86–94. (in Russian)
70. Gorbachev A.L., Lugovaya E.A., Stepanova E.M. Trace element status in old people of European and Asian parts of the North of Russia. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(5): 432–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-5-432-444> (in Russian)
71. Lugovaya E.A., Stepanova E.M. Assessment of the north resident's nutrition supply with view of the content of macro and microelements in food. *Voprosy pitaniya*. 2015; 84(2): 44–52. (in Russian)
72. Agbalyan E.V., Shinkaruk E.V., Popova T.L., Maksimenko Yu.I. Essential and toxic elements in the biosubstrates of the inhabitants of the Yamal peninsula. *Nauchnyy vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*. 2019; (3): 35–45. <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2019.104.3.007> (in Russian)
73. Vil'ms E.A., Gogadze N.V., Turchaninov D.V., Korchina T.Ya. Comparative analysis of trace element composition of hair in urban residents of Western Siberia. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(7): 99–103. (in Russian)
74. Tarmaeva I.Yu., Skal'nyy A.V., Bogdanova O.G., Grabeklis A.R., Belykh A.I. Elemental status of the adult working population of the Republic of Buryatia. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(5): 308–13. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-308-313> (in Russian)
75. Stepanova I.N., Lugovaya E.A. Hair microelement profile in young aboriginal- and Caucasian men in the Chukotka Autonomous district (Arctic Russia). *Ekologiya cheloveka*. 2019; (12): 14–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-12-14-19> (in Russian)
76. Klotz K., Weistenhöfer W., Drexler H. Determination of cadmium in biological samples. *Met. Ions Life Sci*. 2013; 11: 85–98. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5179-8_4
77. Kudin M.V. The trace element composition of hair and nails in children living in communities exposed to cement dust. *Voprosy detskoy dietologii*. 2010; 8(6): 47–50. (in Russian)
78. Savchenkov O.V. Environmental heavy metals pollution effect on preschool children's health. *Ekologiya cheloveka*. 2018; (3): 16–20. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-3-16-20> (in Russian)
79. Kazimov M.A., Alieva N.V. Examination and hygienic assessment of health risk depending on content in foods. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2014; 95(5): 706–9. (in Russian)
80. Matveyko N.P., Protasov S.K., Sadovskiy V.V. Determination of heavy metals in human hair. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013; (2): 95–8. (in Russian)
81. Batyrova G.A., Tlegenova Zh.Sh., Umarova G.A., Kononets V.I., Umarov E.A., Kudabaeva Kh.I., et. al. Microelement status of the adult population in Western Kazakhstan. *Ekologiya cheloveka*. 2021; (11): 42–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-11-42-49> (in Russian)
82. Larionova T.K., Daukaev R.A., Allayarova G.R., Adieva G.F., Pecherskaya V.L. The assessment of provision macro- and trace elements of residents organism of Ufa by composition of biological fluids. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*. 2016; (3): 56–60. (in Russian)