

Чанчаева Е.А.¹, Лапин В.С.¹, Сухова М.Г.¹, Куриленко Т.К.¹, Айзман Р.И.²

Референтные значения концентрации кадмия в волосах жителей Горного Алтая

¹ФГБОУ ВО ГАГУ (Горно-Алтайский государственный университет), 649000, Горно-Алтайск, Российская Федерация;²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», 630126, Новосибирск, Российская Федерация

Введение. Отмечается общемировая тенденция увеличения присутствия Cd в окружающей среде из-за возросшего использования его соединений в промышленности, сельском хозяйстве (кадмий-фосфатных удобрений), сжигания твёрдого, жидкого топлива, твёрдых бытовых отходов. Данные о количественном накоплении Cd в волосах человека в различных регионах России необходимы для определения референтных значений данного элемента и оценки степени его превышения среди населения.

Материалы и методы. Методом атомно-абсорбционной спектрометрии определяли содержание Cd в волосах населения Горно-Алтайска для оценки региональных значений по сравнению с общероссийскими референтными данными.

Результаты. Среднее значение концентрации Cd в волосах населения Горно-Алтайска составило 0,16 мг/кг; относительно данного показателя превышение выявлено у 34,9% жителей, относительно общероссийского показателя — у 54,5%. Отклонения от верхних границ биологически допустимого уровня составили 6,5 и 1,6% соответственно.

Заключение. Референтные значения содержания Cd в волосах жителей административного центра Республики Алтай соответствуют средним показателям в вариационном диапазоне различных регионов, и процент лиц, имеющих превышение допустимого уровня среди населения Горно-Алтайска, также не отличается от других индустриальных регионов.

Ключевые слова: кадмий; референтные значения; биологически допустимый уровень; Горный Алтай

Для цитирования: 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): 307-312. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-307-312>

Для корреспонденции: Чанчаева Елена Анатольевна, доктор биол. наук, доцент, проф. кафедры физического воспитания и спорта, физиологии и безопасности жизнедеятельности Горно-Алтайского государственного университета, 649000, Горно-Алтайск. E-mail: chan.73@mail.ru

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

Благодарность. Исследование не имело финансовой поддержки.

Участие авторов: Чанчаева Е.А. — статистическая обработка, написание текста; Лапин В.С. — сбор, обработка, анализ материала; Сухова М.Г. — выбор районов исследования, анализ результатов, редактирование статьи; Куриленко Т.К. — формирование групп исследования, анализ литературы по теме исследования, редактирование статьи; Айзман Р.И. — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Поступила 28.10.2020 / Принята к печати 10.03.2021 / Опубликована 18.05.2021

Elena A. Chanchaeva¹, Vitaliy S. Lapin¹, Maria G. Sukhova¹, Tatyana K. Kurilenko¹, Roman I. Aizman²

Reference values of cadmium concentration in the hair of residents of the Gornyi Altai

¹Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, 649000, Russian Federation;²Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, 630126, Russian Federation

Introduction. There is a global trend of increasing the Cd level of the environment because of enlarged compounds content in the industry, agriculture (cadmium-phosphate fertilizers), burning solid and liquid fuels, and solid household waste. Data on the quantitative accumulation of Cd in human hair in various regions of Russia is necessary to determine Cd content reference value to evaluate the degree of its excess among the population.

Material and methods. The Cd content in the hair of the population of Gorno-Altai was determined by atomic absorption spectrometry to evaluate regional values to compare them with the all-Russian reference data.

Results. The average value of Cd concentration in the hair of the population of Gorno-Altai was 0.16 mg/kg; according to this index value, the excess was found in 34.9% of residents, relative to the all-Russian index - in 54.5%. Deviations from the upper limits of the biologically acceptable level were 6.5% and 1.6%, respectively.

Discussion. The study results coincide with the literature data on reference values and excess of the local population's biologically acceptable level compared with other regions. There is a low probability of Cd ingestion with food and drinking water in concentrations exceeding acceptable values. Universal sources of Cd human body intake (solid-fuel heating systems, internal combustion engines) determine a homogeneous picture of Cd accumulation in the hair in the Gornyi Altai population in Altai and other regions.

Conclusion. The reference values of Cd content in the hair of residents of the administrative center of the Altai Republic correspond to the average values in the variation range of different regions, and the percentage of people who exceed the permissible level among the population of Gorno-Altai also does not differ from other industrial regions.

Keywords: cadmium; reference values; biological acceptable level; the Gornyi Altai

For citation: Chanchaeva E.A., Lapin V.S., Sukhova M.G., Kurylenko T.K., Aizman R.I. Reference values of cadmium concentration in the hair of the population of The Altai mountains. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100 (4): 307-312. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-4-307-312> (In Russ.)

For correspondence: Elena A. Chanchaeva, MD, Ph.D., DSci., professor of the department of physical education and sport, physiology and life safety of the Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, 649000, Russian Federation. E-mail: chan.73@mail.ru

Contribution of the authors: Chanchaeva E.A. — collection and processing of material, writing a text; Lapin V.S. — collection and processing of material; Sukhova M.G. — definition for studying ecological zones of the city, processing of material, editing; Kurilenko T.K. — formation of research groups, analysis of literature on the research topic, editing; Aizman R.I. — the concept and design of the study; editing, approval of the final version of the article.

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: October 28, 2020 / Accepted: March, 10, 2021 / Published: May 18, 2021

Введение

Микроэлементы поступают во внутреннюю среду организма человека различными путями, в избыточных количествах эти элементы могут оказывать негативное воздействие на состояние здоровья [1]. Одним из наиболее токсичных микроэлементов является кадмий (Cd), который поступает в организм человека с пищей, водой, воздухом и почвой, а результатом его длительного воздействия является поражение скелета, мочевыделительной, репродуктивной, сердечно-сосудистой, нервной и дыхательной систем [2]. Антропогенная деятельность привела к существенным трансформациям в окружающей среде по микроэлементному составу, в частности, присутствие Cd в различных звеньях биогеоценоза значительно возросло из-за использования ископаемого топлива, сжигания отходов и металлической руды [2, 3]. В абсорбционной цепи миграция Cd через различные звенья атмосферного воздуха, воды, почвы, сельскохозяйственной продукции замыкается на уровне накопления в различных тканях человека.

Согласно данным литературы [2, 4], именно поступление с пищевыми продуктами является определяющим для накопления Cd в организме человека, вероятность же поступления микроэлемента с питьевой водой во многих регионах снижена за счёт системного мониторинга качества и очистки водопроводной воды организациями Водоканалов. Другим путём поступления Cd во внутреннюю среду является вдыхание мелкодисперсных твёрдых частиц (ТЧ) атмосферного воздуха. Особую опасность представляют ТЧ диаметром менее 2,5 мкр. ТЧ_{2,5} адсорбируют токсичные вещества, преодолевая аэрогеоматический барьер, переносят их в кровеносную систему [5]. В исследованиях показано, что биодоступность Cd увеличивается с уменьшением размера ТЧ [6, 7].

В организме человека отсутствует механизм активного транспорта Cd через клеточную мембрану, поэтому секреция Cd из капилляров, влетающих извитые каналы нефрона, в ультрафильтрат вторичной мочи невозможна, более того, отфильтрованный в первичную мочу Cd подвергается реабсорбции в кровь [3]. Этим объясняется крайне низкая экскреторная способность Cd через почки (0,001% в сутки). Высокая токсичность элемента уже при малых концентрациях обуславливает его регламентированное значение в животной ткани, которое в несколько десятков и даже сотен раз ниже многих других микроэлементов.

Необходимость оценки содержания Cd в организме населения даже в экологически благоприятных регионах основана на возросшем присутствии поллютанта в различных звеньях биогеоценоза [2]. Для анализа содержания микроэлементов используют образцы различного биологического материала (кровь, моча, слюна). Определённый интерес в биомедицинских исследованиях представляют волосы, поскольку содержание в них микроэлементов концентрируется, не зависит от суточного приёма пищи, количественный состав элементов не изменяется при хранении, а отбор проб и их транспортировка для анализа просты и доступны [1].

Однако дальнейшая интерпретация результатов при индивидуальной оценке каждого образца в волосах требует определения территориальных референтных значений. По данным литературы, верхний уровень этих показателей может отличаться в зависимости от района обследования. Например, для России этот показатель составляет 0,12 мг/кг [1], для Италии – 0,23 мг/кг, Англии – 0,11 мг/кг [2]. Показатель биологически допустимого уровня (БДУ) основан на данных о пределе физиологической адаптации к верхней и нижней границе концентрации микроэлемента, за пределами которой проявляются процессы нарушения гомеостаза. В литературе представлены показатели БДУ концентрации Cd, которые находятся в диапазоне 0–0,25 мг/кг [1].

Данные о количественном накоплении Cd в волосах человека в различных регионах России необходимы для определения референтных значений данного элемента и оценки степени превышения нормированного значения среди на-

Таблица 1 / Table 1

Количественный состав обследованных групп Quantitative composition of the surveyed groups

Район города City district		Пол Gender		Возраст, лет Age, years		
Центр Center	Окраина Skirt	Мужской Male	Женский Female	4–17	18–21	22–50
64	58	62	60	35	40	47

селения. Актуальность обозначенной проблемы определила цель настоящего исследования: оценить содержание Cd в волосах жителей Горно-Алтайска с учётом региональных и общероссийских референтных значений, а также биологически допустимого уровня.

Материалы и методы

У жителей города Горно-Алтайска в период с февраля по май 2020 г. производили сбор образцов волос (табл. 1). При отборе проб соблюдали критерии: постоянное проживание в г. Горно-Алтайске (не менее 5 лет), натуральное состояние волос без воздействия химическими средствами (окрашивание, обесцвечивание, химическая завивка и др.), отсутствие вредной привычки табакокурения. При определении количественного состава образцов волос учитывали возраст, пол и район проживания (см. табл. 1). Процедура отбора образцов волос не противоречила этическим принципам.

В волосах человека определяли концентрацию Cd. Пробоподготовку образцов волос проводили методом мокрого озоления с использованием комплекса ТЭМОС-ЭКСПРЕСС (Россия). Пряди волос обрабатывали ацетоном, промывали дистиллированной водой, высушивали на воздухе, после чего измельчали. Масса навески составляла 0,3–0,5 г. Каждый образец озоляли в следующей последовательности: 1) в тигли с образцами волос добавляли 2 мл HNO₃ (конц.) и выпаривали до 0,5 мл при температуре (*t*) 135 °С; 2) добавляли по 0,5 мл HNO₃ (конц.) и H₂O₂ (30%), выпаривали при *t* = 135 °С несколько раз до однородной золы серого цвета; 3) озоляли пробы при *t* = 450 °С в течение 30 мин; 4) золу растворяли в 50 мл HNO₃ (5%). Концентрацию микроэлементов в растворах с образцами волос определяли атомно-абсорбционным методом («Квант-2», Россия).

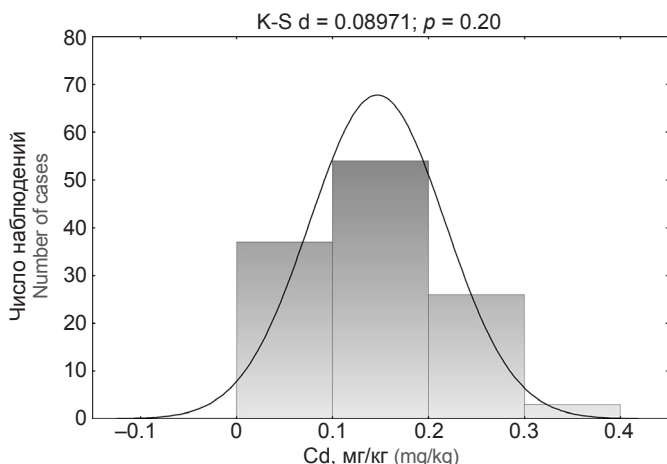
Нормальность распределения значений оценивали по критерию Колмогорова–Смирнова (нулевую гипотезу отвергали при $p < 0,05$). Данные химического анализа представлены как средние значения и ошибка средней ($M \pm m$). Достоверность различий оценивали методом параметрической статистики по *t*-критерию Стьюдента для независимых переменных, о значимости различий судили при $p \leq 0,05$. Степень согласованности переменных оценивали с помощью линейного коэффициента корреляции Пирсона (*r*). Статистический анализ проводили с использованием пакета программ Statistica 10.

Результаты

Установили, что распределение показателей концентрации Cd в волосах населения города Горно-Алтайска приближено к нормальному (см. рисунок) ($K-S; d = 0,089, p > 0,2$), среднее значение составило $0,16 \pm 0,01$ мг/кг. Достоверных различий по содержанию Cd в зависимости от района проживания, возраста и пола не выявлено (табл. 2).

При оценке степени согласованности между показателями концентрации Cd в волосах жителей Горно-Алтайска, их возрастом, полом и районом проживания корреляционной зависимости не обнаружено. В табл. 3 представлены референтные значения разных регионов, из которых видно, что верхний уровень концентрации Cd в волосах варьирует

Original article



Концентрация кадмия в волосах жителей Горно-Алтайска.
Concentration of cadmium in the hair of residents of Gorno-Altai.

Таблица 2 / Table 2

Средние значения концентрации кадмия в волосах жителей Горно-Алтайска ($M \pm m$)
Average values of cadmium concentration in the hair of residents of Gorno-Altai ($M \pm m$)

Группы сравнения жителей Comparison groups of residents		Концентрация кадмия Cadmium concentration
Район города:	City district:	
центр	center	0.161 ± 0.01
окраина	skirt	0.159 ± 0.005
Пол:	Gender:	
мужской	male	0.160 ± 0.005
женский	female	0.156 ± 0.006
Возраст, лет:	Age, years:	
	4–17	0.155 ± 0.003
	18–21	0.159 ± 0.01
	22–50	0.164 ± 0.005

Таблица 3 / Table 3

Референтные значения концентрации кадмия в волосах жителей различных регионов мира
Reference values of the concentration of cadmium in the hair of residents of different regions of the world

Регион обследования Investigated region	Референтные значения, мг/кг Reference values, mg/kg	Источник Reference
г. Горно-Алтайск Gorno-Altaysk	0–0.16	–
Регионы России, Хорватии, Македонии, Литвы, Украины Regions of Russia, Croatia, Macedonia, Lithuania, Ukraine	0.03–0.12	[1]
Татарстан Tatarstan	0.013–0.069	[8]
Башкортостан Bashkortostan	0–0.089	[9]
г. Баку Baku city	0.19	[4]
Россия (для рабочих, контактирующих с тяжёлыми металлами)* Russia (for workers in contact with heavy metals)*	0.05–0.3	–
Италия Italy	0–0.23	[10]
Англия England	0–0.11	[2]
Польша Poland	0–0.114	[11]
Франция France	0–0.011	[12]
Швеция Sweden	0–0.058	[13]
Бразилия Brazil	0.04–0.193	[14]
Испания Spain	0–0.022	[15]
Индия India	0–0.13	[16]
Китай China	0.09–0.30	[17]

Примечание. * Любченко П.Н., Ревич Б.А., Левченко И.И. *Скрининговые методы для выявления групп повышенного риска среди рабочих, контактирующих с токсичными химическими элементами: методические рекомендации (МЗ СССР 28.11.1988)*. М., 1988.

Note. * Lyubchenko P.N., Revich B.A., Levchenko I.I. *Screening methods for identifying high-risk groups among workers in contact with toxic chemical elements: methodological recommendations (Ministry of Health of the USSR 28.11.1988)*. Moscow., 1988.

Таблица 4 / Table 4

Процент жителей Горно-Алтайска с превышением содержания кадмия в волосах
The percentage of residents of Gorno-Altai with the increased content of cadmium in hair

Группы сравнения жителей Comparison groups of residents		Превышение / Exceedence			
		относительно референтных значений relative to reference values		биологически допустимый уровень biological acceptable level	
		по Горно-Алтайску (0.16 мг/кг) in Gorno-Altaysk (0.16 mg/kg)	общероссийских (0.12 мг/кг) [1] all-Russian (0.12 mg/kg) [1]	0.25 мг/кг [1] 0.25 mg/kg [1]	0.3 мг/кг [1] 0.3 mg/kg [1]
Район:	District:				
центр	center	34.8	60.9	6.4	1.7
окраина	skirt	35.7	50.1	6.7	1.4
Пол:	Gender:				
мужской	male	37.2	57.6	6.8	1.5
женский	female	31.5	51.5	6.3	1.7
Возраст, лет:	Age, Years:				
	4–17	29.4	44.5	5.6	1.2
	18–21	37.5	52.9	6.7	1.8
	22–50	38.1	62.5	7.1	1.9
Всего	Total	34.9	54.5	6.5	1.6

Таблица 5 / Table 5

Содержание Cd в вероятных источниках поступления в организм
Cd content in probable sources of entry into the human body

Источники Sources		ПДК, мг/кг* Maximal Admissible Concentrations, mg/kg*	Содержание кадмия Cd content
Мясо-молочные продукты [19]:	Meat and dairy products [19]:		
сыр	cheese	0.2	0.004–0.013
молоко	milk	0.2	0–0.0018
субпродукты (овца)	offal (sheep)	0.3	0.001–0.780
мясо (крупный рогатый скот)	meat (cattle)	0.05	0.001
мясо (сарлык)	meat (sarlyk)	0.05	0.003
Зерновые:	Cereals:		
зерно пшеницы	wheat grain	0.1	0.05–0.71 [20]
горох	peas	0.1	0.15–0.26 [21]
кукуруза	corn	0.1	0.009–0.14 [21]
Рыба:	Fish:		
минтай	pollock	0.2	0.03–0.17 [22]
песядь	peled	0.2	0.01–0.02 [23]
сибирский хариус	Siberian grayling	0.2	0.003 [23]
сельдь	herring	0.2	0.07 [24]
скумбрия	mackerel	0.2 [19]	0.065 [24]
Твёрдое топливо [25]:	Solid fuels [25]:		
каменный уголь, т/год	Coal coal, t/year	–	1–5
содержание в золе, т/год	ash content, t/year	–	5–34
Жидкое топливо [18]:	Liquid fuels [18]:		
сжигание мазута, т/год	burning fuel oil, t/year	–	12
сжигание других видов жидкого топлива, т/год	combustion of other types of liquid fuels, t/year	–	6
Никель-кадмиевые аккумуляторы (% от всей добычи кадмия)	Nickel-cadmium batteries (% of total cadmium mining)	–	77
Пластмассовые изделия (% от всей добычи кадмия)	Plastic products (% of all cadmium mining)	–	52
Красители (% от всей добычи кадмия)	Dyes (% of total cadmium mining)	–	8
Удобрения (в 100 г) [26]:	Fertilizers (in 100 g) [26]:		
суперфосфат, мкг	superphosphate, mkg	–	720
фосфат калия, мкг	potassium phosphate, mkg	–	471
селитра, мкг [18]	saltpeter, mkg [18]	–	66

Примечание. * Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. М: ФГУП «ИнтерСЭН», 2002.

Note. * Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products. Sanitary and epidemiological rules and regulations. SanPiN 2.3.2.1078-01. Moscow: Federal State Unitary Enterprise "InterSEN", 2002.

в диапазоне от 0,011 мг/кг (Франция) до 0,3 мг/кг (Китай). Предельный уровень концентрации по России составил 0,3 мг/кг для рабочих, контактирующих с тяжёлыми металлами, и рассматривается во многих работах как биологически допустимый уровень.

Таким образом, референтные значения содержания Cd в волосах жителей административного центра Республики Алтай соответствуют промежуточным показателям в вариационном диапазоне различных регионов.

На следующем этапе определяли процент населения с концентрацией Cd в волосах, превышающей референтные значения Горно-Алтайска и общероссийские показатели (табл. 4). Превышение относительно референтного значения Горно-Алтайска выявлено у 34,9% жителей, относительно общероссийского показателя – у 54,5%. В качестве верхнего порога биологически допустимого уровня были взяты значения, разработанные для населения России и используемые Центром биотической медицины в качестве нормативов (0,25 мг/кг) [1],

а также для рабочих, контактирующих с тяжёлыми металлами (0,3 мг/кг). Отклонения от верхних границ биологически допустимого уровня составили 6,5 и 1,6% соответственно.

Обсуждение

Исследователи многих стран отмечают общемировую тенденцию увеличения присутствия Cd в окружающей среде из-за роста промышленности, где используются соединения кадмия, применения в сельском хозяйстве фосфатных удобрений, сжигания твёрдого, жидкого топлива, твёрдых бытовых отходов [18]. В табл. 5 представлен перечень вероятных источников поступления Cd в окружающую среду и в организм населения Горно-Алтайска. Из таблицы видно, что вероятность поступления Cd в концентрациях, превышающих допустимые значения, с продуктами питания низкая. Отмечается присутствие элемента в превышенных концентрациях в субпродуктах [19] и некоторых зерновых культурах [20, 21].

Среди представленных данных литературы по содержанию Cd в образцах рыб не выявляется превышения допустимых значений [22–24]. Мониторинг качества питьевой воды, проводимый санитарными и экологическими службами Республики Алтай, позволяет исключить вероятность поступления Cd в организм населения республики с водой.

Значительный вклад в процесс поступления Cd в атмосферу вносит использование в качестве топлива каменного угля. По данным Г.Б. Мелентьева, Е.Н. Малининой [25], именно при сжигании угля происходит процесс концентрации Cd в зольных остатках, в результате относительная концентрация Cd в частицах пыли во много раз выше, чем в исходном твёрдом топливе.

Такой же процесс отмечается при использовании жидкого топлива в двигателях внутреннего сгорания, источником Cd также являются изношенные материалы автомобильных шин [22]. Повсеместное поступление в воздушный бассейн Горно-Алтайска выбросов от твердотопливных отопительных систем, перемешивание атмосферного воздуха районов города с разной транспортной нагрузкой создаёт общий фон по степени загрязнения.

По результатам расчёта*, объём валовых выбросов загрязняющих веществ от различных источников в атмосферный воздух за один год на территории г. Горно-Алтайска составляет около 8,3 тыс. т/год, из них за счёт автомобильного транспорта – 49%, за счёт топливно-энергетических предприятий – 51%. По данным статистики МВД по Республике Алтай, количество легковых автомобилей в Горно-Алтайске на 2020 г. составляет свыше 500 единиц на 1000 населения.

* Доклад Автономного учреждения Республики Алтай «Алтайский региональный институт экологии» о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай. https://altai-republic.ru/society/doklad_nature. Ссылка активна на 06.10.2020 г.

В долине р. Маймы, где расположен Горно-Алтайск, метеорологический показатель самоочищения атмосферы свидетельствует о преобладании процессов, способствующих накоплению примесей. Это обусловлено особенностями рельефа, котловинообразным расширением долины и незначительными перепадами высот при существенной повторяемости антициклональной погоды [27].

В целом процент превышения содержания Cd в волосах среди жителей Горно-Алтайска относительно биологически допустимого уровня (2,5–3 мг/кг) составляет 1,6–6,5%. Результаты данного исследования совпадают с данными других авторов. Так, процент превышения содержания Cd в волосах населения Республики Татарстан составил 6,7% [8], Ханты-Мансийского автономного округа – 1,27–2,87% [28]. Процент превышения концентрации Cd в волосах жителей Горно-Алтайска относительно общероссийских референтных значений (0,12 мг/кг [1]) составил 54,5%, что совпадает с данными по Республике Башкортостан (52,1%) [9].

Заключение

Референтные значения содержания Cd в волосах жителей административного центра Республики Алтай соответствуют промежуточным показателям в вариационном диапазоне различных регионов, процент превышения БДУ среди населения Горно-Алтайска примерно в 4 раза выше общероссийских значений. На фоне отсутствия промышленной нагрузки, эндемичных источников поступления Cd в организм населения прогнозировалось незначительное превышение референтных значений. Универсальные источники поступления Cd в организм человека (твердотопливные отопительные системы, двигатели внутреннего сгорания) определяют однородную картину аккумуляции кадмия в волосах населения Горного Алтая и других регионов.

Литература

(п.п. 2, 5–7, 10–17, 27 см. References)

- Скальный А.В., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г., Тармаева И.Ю., Киричук А.А. *Химические элементы в гигиене и медицине окружающей среды*. М.; 2019.
- Островская С.С. Токсические эффекты кадмия. *Вестник проблем биологии и медицины*. 2014; 3(2): 33–8.
- Казимов М.А., Алиева Н.В. Изучение и гигиеническая оценка риска для здоровья от присутствия тяжёлых металлов в продуктах питания. *Казанский медицинский журнал*. 2014; 95(5): 706–9.
- Агаджанян Н.А., Скальный А.В., Березкина Е.С., Демидов В.А., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г. Референтные значения содержания химических элементов в волосах взрослых жителей Республики Татарстан. *Экология человека*. 2016; (4): 38–44.
- 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>
- Снежко С.И., Шевченко О.Г. Источники поступления тяжёлых металлов в атмосферу. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2011; (18): 35–7.
- Рождественская Т.А., Ельчинова О.А., Пузанов А.В. Тяжёлые металлы в продукции животноводства Горного Алтая. *Мир науки, культуры, образования*. 2009; (5): 14–6.
- Берсенева Л.М. Содержание некоторых тяжёлых металлов в зерне пшеницы. *Вестник КрасГАУ*. 2018; (2): 266–72.
- Фещенко В.П. Содержание тяжёлых металлов в кормовых культурах Новосибирской области. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2014; (10): 33–6.
- Купина Н.М., Баштовой А.Н., Павел К.Г. Исследование химического состава, биологической ценности минтая *Theragra chalcogramma* залива Петра Великого. *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*. 2015; 180: 310–9.
- Попов П.А., Андросова Н.В. Содержание тяжёлых металлов в мышечной ткани рыб из водоемов бассейна реки Оби. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2014; (4): 108–22. <https://doi.org/10.17223/19988591/28/7>
- Ефимова И.О., Григорьева В.В., Тихонова Г.П. Определение доброкачественности морской рыбы и содержания в ней тяжёлых металлов. *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018; (4): 47–52. <https://doi.org/10.17022/fhss-js35>
- Мелентьев Г.Б., Малинина Е.Н. Угольное сырьё и отходы его переработки как источник промышленно ценных и токсичных элементов-примесей: состояние изученности и перспективы комплексного использования в интенсификации и экологизации углепотребления. *Экология промышленного производства*. 2008; (3): 41–53.
- Морозова Т.С., Колесниченко Е.Ю. Агроэкологическая оценка систематического применения удобрений на накопление кадмия и свинца в черноземе типичном. *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2019; (4): 226–35.
- Корчина Т.Я., Корчин В.И., Сухарева А.С., Сафарова О.А., Черепанова К.А., Богданович А.Б. и соавт. 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>

References

- Skal'nyy A.V., Grabeklis A.R., Skal'naya M.G., Tarmaeva I.Yu., Kirichuk A.A. *Chemical Elements in Environmental Hygiene and Medicine [Khimicheskie elementy v gigiene i meditsine okruzhayushchey sredy]*. Moscow; 2019. (in Russian)
- 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>
- Ostrovskaya S.S. Toxic effects of cadmium (literature review). *Vestnik problem biologii i meditsiny*. 2014; 3(2): 33–8. (in Russian)
- Kazimov M.A., Alieva N.V. Examination and hygienic assessment of health risk depending on heavy metals content in foods. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2014; 95(5): 706–9. (in Russian)
- Brewer E., Li Y., Finken B., Quartucy G., Muzio L., Baez Al., et al. PM_{2.5} and ultrafine particulate matter emissions from natural gas fired

- turbine for power generation. *Atmospheric Environ.* 2016; 131: 141–9. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.048>
6. Olumayede E.G., Ediagbonya T.F. Sequential extractions and toxicity potential of trace metals absorbed into airborne particles in an urban atmosphere of Southwestern Nigeria. *Sci. World J.* 2018; 2018: 6852165. <https://doi.org/10.1155/2018/6852165>
 7. Phi T.H., Chinh P.M., Cuong D.D., Ly L.T.M., Van Thinh N., Thai P.K. Elemental concentrations in roadside dust along two national highways in Northern Vietnam and the health-risk implication. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2017; 74(1): 46–55. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0477-7>
 8. 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. (in Russian)
 9. Rafikova Yu.S., Semenova I.N., Khasanova R.F., Suyundukov Ya.T. Cadmium and lead concentration 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)
 10. 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)
 11. Chojnacka K., Górecka H., Chojnacki A., Górecki H. Inter-element interactions in human hair. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2005; 20(2): 368–74. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2005.03.004>
 12. Goullé J.P., Mahieu L., Castermant J., Neveu N., Bonneau L., Lainé G., et al. Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair. Reference values. *Forensic Sci. Int.* 2005; 153(1): 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2005.04.020>
 13. Rodushkin I., Axelsson M.D. Application of double focusing sector field ICP-MS for multielemental characterization of human hair and nails. Part II. A study of the inhabitants of northern Sweden. *Sci. Total Environ.* 2000; 262(1–2): 21–36. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00369-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00369-7)
 14. Carvalho A.S.C., Santos A.S., Pereira S.F.P., Alves C.N. Levels of As, Cd, Pb and Hg found in the hair from people living in Altamira, Pará, Brazil: environmental implications in the Belo Monte area. *J. Braz. Chem. Soc.* 2009; 20(6): 1153–63. <https://doi.org/10.1590/S0103-5053200900060002>
 15. 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>
 16. 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>
 17. Du B., Zhou J., Lu B., Zhang C., Li D., Zhou J., et al. 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>
 18. 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)
 19. Rozhdstvenskaya T.A., El'chinina O.A., Puzanov A.V. Presence of heavy metals in animal products of Gorny Altai. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya.* 2009; (5): 14–6. (in Russian)
 20. Berseneva L.M. The content of some heavy metals in wheat grain. *Vestnik KrasGAU.* 2018; (2): 266–72. (in Russian)
 21. Feshchenko V.P. The content of heavy metals in forage crops in the Novosibirsk region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2014; (10): 33–6. (in Russian)
 22. Kupina N.M., Bashtovoy A.N., Pavel' K.G. Investigation of chemical composition, biological value and safety of walleye Pollock *Theragra chalcogramma* from Peter the Great bay. *Izvestiya TINRO (Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybnokhozyaystvennogo isentra).* 2015; 180: 310–9. (in Russian)
 23. Popov P.A., Androsova N.V. Metal content in the muscular tissue of fish from the river. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya.* 2014; (4): 108–22. <https://doi.org/10.17223/19988591/28/7> (in Russian)
 24. Efimova I.O., Grigor'eva V.V., Tikhonova G.P. Determination of the purity of Varine fish content of heavy metals in it. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii.* 2018; (4): 47–52. <https://doi.org/10.17022/fhss-js35> (in Russian)
 25. 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)
 26. 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)
 27. Chanchaeva E.A., Sukhova M.G., Sidorov S.S. Problems of the health status of children and atmospheric air of Gorno-Altai under the conditions of increasing transport load. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2019; 395: 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012004>
 28. 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)