

Читать
онлайн
Read
online

Чанчаева Е.А.

Количественный анализ содержания марганца в волосах населения административного центра Горного Алтая

ФГБОУ ВО «Горно-Алтайский государственный университет», 649000, Горно-Алтайск, Россия

Введение. Двойственное значение марганца (Mn) для организма человека обусловлено его необходимостью в малых концентрациях для многих физиологических процессов и токсичностью при избыточном поступлении в организм. Поступление Mn в организм в повышенных концентрациях происходит преимущественно ингаляционным путём и крайне редко путём всасывания через кишечник, поэтому загрязнение атмосферного воздуха рассматривают как наиболее вероятную причину развития гипермикрэлементоза Mn.

Материалы и методы. Определяли количественное содержание Mn в волосах населения Горно-Алтайска методом атомно-абсорбционной спектроскопии для анализа референтных значений и выявления микрэлементозов.

Результаты. По количественному содержанию Mn в волосах гипомикрэлементоз выявлен у 3,3% жителей Горно-Алтайска, преимущественно в возрастной группе 4–17 лет, гипермикрэлементоз обнаружен у 17% обследованного населения, большей частью в старшей возрастной группе. В ряду референтных значений концентрации Mn в волосах населения различных регионов показатели жителей Горно-Алтайска (2,37 мг/кг) приближены к данным Японии (2,4 мг/кг) и Ханты-Мансийского автономного округа (1,8–2,9 мг/кг). Таким образом, референтные значения концентрации Mn у обследованного населения Горно-Алтайска приближены к показателям индустриальных регионов.

Ограничения исследования. Поступление Mn в организм человека с частицами от выбросов твёрдого и жидкого топлива, взвешенными в воздухе, не оценивали.

Заключение. На фоне низкой промышленной нагрузки в Горно-Алтайске остаётся актуальной проблема широкого использования ископаемого твёрдого топлива. За счёт сжигания каменного угля происходит загрязнение атмосферного воздуха многими тяжёлыми металлами, в том числе отмечается повышенное содержание Mn. Географические особенности города обуславливают слабое самоочищение воздушного бассейна, концентрацию загрязнителей в приземной части атмосферного воздуха, что повышает риск развития гипермикрэлементозов. Результаты настоящего исследования указывают на необходимость повышения уровня экологической культуры населения Горно-Алтайска, полного отказа от использования твёрдого ископаемого топлива.

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

Соблюдение этических стандартов. От добровольцев получено письменное информированное согласие на участие в эксперименте. В работе использован нетравматичный, неинвазивный метод, не требующий одобрения Этического комитета.

Для цитирования: Чанчаева Е.А. Количественный анализ содержания марганца в волосах населения административного центра Горного Алтая. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(2): 153–158. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-153-158>

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

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 14.05.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликована: 10.03.2022

Elena A. Chanchaeva

Quantitative analysis of the content of manganese in the hair of the population of the administrative centre of Gorny Altai

Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, 649000, Russian Federation

Introduction. The dual value of manganese (Mn) for the human body is due to its need for low concentrations for many physiological processes and toxicity in excess intake and accumulation in the tissues. The intake of Mn in the body in concentrations exceeding the physiological norm occurs mainly by inhalation and extremely rarely by absorption through the intestine, so atmospheric air pollution is considered one of the most likely causes of the development of Mn hypermicroelementosis.

Materials and methods. The quantitative content of Mn in the hair of the population of Gorno-Altai was determined by atomic absorption spectrometry to analyze the reference values and detect trace elements.

Results. Hypomicroelementosis was detected in 3.3% of residents of Gorno-Altai, mainly in the age group of 4–17 years, hypermicroelementosis was detected in 17% of residents, mostly in the older age group. The reference values of the Mn concentration of the residents of Gorno-Altai (2.37 mg/kg) are close to the data of Japan (2.4 mg/kg) and the Khanty-Mansi Autonomous Okrug (1.8–12.9 mg/kg). Thus, the reference values of the Mn concentration of the surveyed population of Gorno-Altai are close to the indices of large industrial regions.

Limitations. The intake of Mn with particles from solid and liquid fuel emissions suspended in the air by residents was not evaluated.

Conclusion. Against the background of the low industrial load in Gorno-Altai, the problem of widespread use of solid fossil fuels remains relevant. Due to the burning of coal, the atmospheric air is polluted with a wide range of heavy metals, including an increased content of Mn. The geographical features of the city cause poor self-cleaning of the air basin an increased concentration of pollutants in the atmospheric air, which increases the risk of hypermicroelementosis. The results of this study indicate the need to improve the level of ecological culture of the population of Gorno-Altai and completely abandon the use of solid fossil fuels.

Keywords: manganese; reference values; a biologically acceptable level; the Gorny Altai

Compliance with ethical standards. Written informed consent to participate in the experiment was received from volunteers. The work uses a non-traumatic, non-invasive method that does not require the approval of the Ethics Committee.

For citation: Chanchaeva E.A. Quantitative analysis of manganese content in the hair of the population of the administrative centre of Gorny Altai. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(2): 153–158. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-153-158> (In Russ.)

For correspondence: Elena A. Chanchaeva, MD, PhD, 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

Information about the author: Chanchaeva E.A., <https://orcid.org/0000-0001-5281-1145>

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: May 14, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: March 10, 2022

Введение

Марганец (Mn) широко распространён в геоэкологическом звене, из которого в виде силикатов, карбонатов и оксидов проникает в биоту. В организм человека Mn поступает с пищей и водой, всасывание микроэлемента в кровь наблюдается уже в желудке, так как элемент легко растворяется в кислой среде; в тонком кишечнике его абсорбции способствуют транспортные белки. Таким способом в организм человека поступает лишь 1–5% от максимального количества Mn. В малых концентрациях микроэлемент участвует во многих физиологических процессах (является кофактором для ряда ферментов, участвует в процессах роста костной и соединительной тканей, свёртывании крови, углеводном, липидном, белковом метаболизме, обеспечивает нормальное функционирование мышечной ткани) [1–4]. В больших концентрациях микроэлемент способен проникать во внутреннюю среду при вдыхании марганцевых аэрозолей [3], а также с атмосферным воздухом в составе твёрдых частиц (ТЧ). Известно, что частицы диаметром менее 10 мкр ($\leq TЧ_{10}$) способны проникать в дыхательные пути и оседать глубоко в лёгких, менее 2,5 мкр ($\leq TЧ_{2,5}$) – преодолевать аэрогематический барьер и попадать в кровеносную систему [5]. Так, биодоступность Mn повышается при размере ТЧ менее 5 мкр [2, 5].

В литературе описаны симптомы отравления Mn у горно-рабочих, длительное время пребывающих в условиях высоких концентраций Mn в атмосферном воздухе [4, 6, 7]. Среди проявлений токсического воздействия Mn на организм человека выделяют поражение нервной и дыхательной систем, паркинсонизм, аллергический дерматит, экземы. В атмосферный воздух Mn поступает от промышленных предприятий, твердотопливных отопительных систем, двигателей внутреннего сгорания. В обычных условиях токсическое воздействие Mn встречается крайне редко, однако при возрастной транспортной и теплоэнергетической нагрузке пролонгированное воздействие Mn в концентрациях, превышающих допустимые значения, делает возможным его аккумуляцию в тканях [2–4]. В организме микроэлемент накапливается в форме Mn^{3+} , так как эта форма образует прочные связи с белками, в соединении с которыми элемент проходит внутрь клеток. Другую форму (Mn^{2+}) гепатоциты секретируют в жёлчь, большей частью в её составе элемент экскретируется из организма, и лишь 1–3% экскретируется с мочой [6].

Для выявления у населения гипо- и гипермикроэлементоза Mn на дозоэкологическом уровне необходима оценка концентрации Mn в биосредах человека [8, 9]. Среди возможных биосред волос признаны наиболее удобным для анализа материалом, так как в них происходит значительное накопление микроэлементов. Содержание веществ в волосах не зависит от суточного приёма пищи, количественный состав элементов не изменяется при хранении, а отбор проб и их транспортировка для анализа просты и доступны [6, 9, 10]. Для интерпретации результатов необходимо определить региональные референтные значения оцениваемого микроэлемента. По данным литературы, эти показатели могут отличаться в зависимости от района обследования. Например, для России этот показатель составляет 0,15–1,8 мг/кг [9], для Италии – 0,04–1,78 мг/кг, для Кореи – 0,04–0,1 мг/кг, для Бразилии – 0,03–0,75 мг/кг [11]. 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 Mn, которые находятся в диапазоне 4–30 мг/кг¹.

¹ 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.

Таблица 1 / Table 1

Гендерно-возрастной состав обследованных групп Quantitative composition of the surveyed groups

Показатель Index	Число участников Number of participants
Пол: / Gender:	
мужской / male	62
женский / female	60
Возраст, лет: / Age, years:	
4–17	35
18–21	40
22–50	47

Данные о количественном накоплении Mn в волосах человека в различных регионах необходимы для определения референтных значений данного элемента и выявления микроэлементозов у населения.

Цель исследования – оценить содержание Mn в волосах жителей г. Горно-Алтайска с учётом региональных и общероссийских референтных значений, а также биологически допустимого уровня.

Материалы и методы

У жителей Горно-Алтайска в условиях химико-экологической лаборатории Горно-Алтайского государственного университета производили сбор образцов волос (табл. 1). Все обследованные – постоянные жители Горно-Алтайска, проживающие в условиях частного сектора с печным отоплением и в многоквартирных благоустроенных комплексах, отапливаемых центральными котельными. Для отбираемых образцов волос обязательным условием являлось отсутствие у добровольцев вредной привычки табакокурения, натуральное состояние волос без воздействия химическими средствами (окрашивание, обесцвечивание, химическая завивка и др.). Среди обследованного населения Горно-Алтайска профессиональный контакт с металлами на производстве отсутствовал.

При определении количественного состава образцов волос учитывали возраст и пол обследованных (см. табл. 1), концентрацию микроэлементов определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре «Квант-2» (Россия).

Проверку нормальности распределения данных выполняли с использованием критерия Шапиро–Уилка (нулевую гипотезу отвергали при $p \leq 0,05$). Данные химического анализа представлены как среднее значение, показатели медианы и моды, в качестве мер рассеивания проводили вычисление перцентилей 25–75% ($Q_1–Q_3$). Значимость различий изучаемых параметров анализировали с применением критерия Манна–Уитни. Пороговое значение уровня значимости принимали равным 0,05.

Результаты

В распределении показателей концентрации Mn в волосах населения Горно-Алтайска выявлено статистически значимое отклонение от нормального ($W = 0,862$; $p < 0,001$) (см. рисунок), при этом наиболее часто встречающееся значение соответствовало интервалу 0–1 мг/кг, число наблюдений было равно 40 (33%), показатель моды составил 0,61 мг/кг (табл. 2). Максимальные значения (8–9 мг/кг) составили 2,5% общего количества измерений.

Среднее значение содержания Mn в волосах жителей Горно-Алтайска составило 2,37 мг/кг. Индивидуальные показатели микроэлемента у жителей Горно-Алтайска сравнивали со средним региональным значением (2,37 мг/кг), референтным значением (0,15–1,8 мг/кг), установленным для

населения России [9], и БДУ (4 мг/кг), определённым для рабочих, контактирующих с тяжёлыми металлами. Данные сравнения представлены в табл. 3.

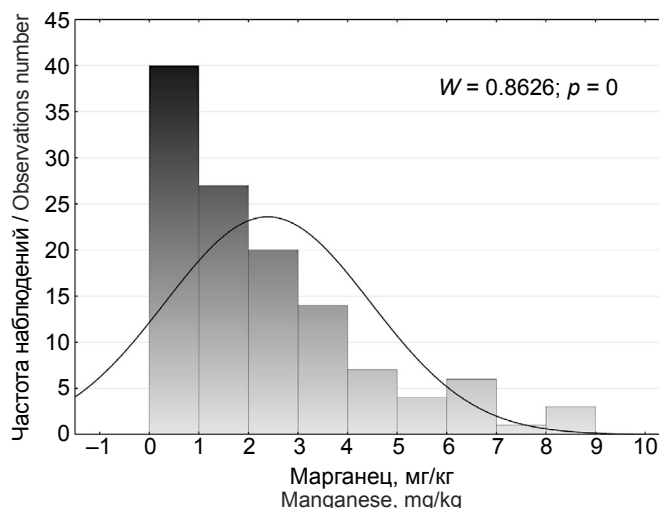
Процент гипермикроэлементоза относительно БДУ у жителей Горно-Алтайска составил 17,1%, относительно референтного значения для населения России – 41,8%, превышение среднего значения, определённого для населения Горно-Алтайска (2,37 мг/кг), – 37,7%. Более высокий процент гипермикроэлементоза проявляется в юношеском возрасте ($p < 0,05$), при этом различия между мужской и женской частями населения незначимы. Процент населения с концентрацией Mn в волосах ниже 0,15 мг/кг [9] составил 3,3%, преимущественный возраст 4–17 лет (см. табл. 3).

В табл. 4 представлены референтные значения для разных регионов, показывающие, что концентрация Mn в волосах находится в пределах от 0,1 мг/кг (Корея) до 15,48 мг/кг (Индия). В представленном ряду референтных значений разных стран показатели концентрации Mn в волосах жителей Горно-Алтайска приближены к показателям индустриальных регионов Японии (2,4 мг/кг) и Ханты-Мансийского автономного округа (1,8–12,9 мг/кг).

Обсуждение

Обеспеченность организма Mn способствует полноценному протеканию антиоксидантных процессов, стабильному поддержанию структуры клеточных мембран, нормальному функционированию мышечной ткани, а в детском и подростковом возрасте – развитию соединительной, хрящевой и костной ткани [9]. По количественному содержанию Mn в волосах обследованного населения гипомикроэлементоз ($< 0,15$ мг/кг) выявлен у 3,3% жителей Горно-Алтайска, преимущественно в возрастной группе 4–17 лет. Коррекцию гипомикроэлементоза Mn рекомендуют проводить путём обогащения рациона зерновыми, бобовыми продуктами, фруктами, овощами, а также орехами и морепродуктами [1–4, 9, 15]. Достаточное потребление продуктов, содержащих Mn, обеспечивает всасывание микроэлемента в кишечнике и восполнение его суточной потребности, при этом избыточное всасывание Mn из продуктов питания и пищевое отравление микроэлементом встречается крайне редко [1].

Более вероятные причины развития гипермикроэлементоза Mn связывают с его поступлением в организм ингаляционным путём [1, 3, 7, 9, 15, 16]. В многочисленных зарубежных исследованиях сделана попытка установить уровень Mn в волосах, при котором проявляются нарушения нейрокognитивных функций [1, 7, 16]. Приводятся данные о концентрации Mn более 0,55 мкг/г у детей до 6 лет, которые связывают с нарушением когнитивных функций [16]. Максимальные показатели концентрации



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

Таблица 2 / Table 2

Концентрация марганца в волосах населения Горно-Алтайска
Values of manganese concentration in the hair of residents of Gorno-Altai

Показатель / Index	Mn
Среднее / Average	2.37
Медиана / Median	1.68
Мода / Mode	0.61
Min–Max	0.01–8.77
Q ₁	0.81
Q ₃	3.57

Mn жителей Горно-Алтайска (8–9 мг/кг) превышают границу БДУ (4 мг/кг), гиперэлементоз выявлен у 17% жителей, что примерно совпадает с данными по Ямало-Ненецкому автономному округу, где превышение по Mn выявлено у 20–25% населения 7–17 лет при референтных значениях 0,26–0,77 мг/кг [15]. Референтные значения концентрации Mn у жителей Горно-Алтайска (2,37 мг/кг) приближены к данным индустриальных регионов Японии (2,4 мг/кг) [6] и Ханты-Мансийского автономного округа (1,8–12,9 мг/кг) [8] (см. табл. 4).

Таблица 3 / Table 3

Процент жителей Горно-Алтайска с низкой и высокой концентрацией марганца в волосах
The percentage of residents of Gorno-Altai with the low and high concentrations of manganese in hair

Группы сравнения Comparison groups of residents	Гипермикроэлементоз Hypermicroelementosis			Гипомикроэлементоз Hypomicroelementosis
	> 2.37 мг/кг (mg/kg) (Горно-Алтайск / Gorno-Altai)	> 1.8 мг/кг (mg/kg) [9]	> 4.0 мг/кг (mg/kg)	0.15 мг/кг (mg/kg)
Пол: / Gender:				
мужской / male	19.3	22.9	8.9	0.8
женский / female	18.4	18.8	8.2	1.6
Возраст, лет: / Age, years:				
4–17	8.2*	9.8*	2.4*	2.5
18–21	15.6*	16.4*	9.0*	0.7
22–50	13.9	15.6	5.7	0
Всего / Total	37.7	41.8	17.1	3.3

Примечание / Note. * – $p < 0.05$.

Таблица 4 / Table 4

Референтные значения концентрации марганца в волосах населения разных регионов

Reference values of the concentration of manganese in the hair of residents in different regions

Регион обследования Investigated region	Референтные значения, мг/кг Reference values, mg/kg	Источник Resource
Горно-Алтайск / Gorno-Altai	2.37	
Россия (для рабочих, контактирующих с тяжёлыми металлами) Russia (for workers in contact with heavy metals)	4.0–30.0 ¹	
Ханты-Мансийский автономный округ Khanty-Mansi Autonomous Okrug	1.8–12.9	[8]
Татарстан / Tatarstan	0.35–2.31	[10]
Регионы России, Хорватии, Македонии, Литвы, Украины Regions of Russia, Croatia, Macedonia, Lithuania, Ukraine	0.15–1.8	[9]
Индия / India	15.48	[6]
США / USA	0–4.1	[11]
Япония / Japan	2.4	[6]
Ливия / Libya	1.73	[6]
Италия / Italy	0–0.91	[12]
Польша / Poland	0.86	[13]
Бразилия / Brazil		
France / Korea	0.03–0.75 0.37	[14] [6]
Франция / France	0.41	[6]
Корея / Korea	0.04–0.1	[14]

Известно, что за счёт сжигания мазута в воздух поступает около 14 мкг/МДж Mn, при сжигании пылеобразного каменного угля – до 230 мкг/МДж. Именно за счёт сжигания каменного угля происходит загрязнение атмосферного воздуха широким спектром тяжёлых металлов, в том числе наблюдается повышение содержания Mn [17]. Данные о содержании Mn в воздушном бассейне Горно-Алтайска в доступных базах отсутствуют. Однако миграции элемента из аэротического звена в различные звенья геоценоза и его кумуляцию возможно оценить по содержанию в природных адсорбентах (снег, почва, осадковые воды, донный осадок рек и др.) (табл. 5).

Из табл. 5 видно, что содержание Mn в осадковой воде Горно-Алтайска превышает допустимую концентрацию, разработанную для воды водных объектов рыбохозяйственного назначения (ПДК = 0,01 мг/л) и питьевой воды (ПДК = 0,1 мг/л). В снеготалой воде отмечается существенное превышение концентрации Mn (850 мг/дм³) относительно допустимых значений (ПДК = 0,1 мг/л). Содержание микроэлемента в почве и донном осадке р. Маймы (796 и 793 мг/кг соответственно) несколько превышает допустимые показатели (ПДК = 700 мг/кг). Таким образом, косвенным показателем содержания Mn в твёрдых частицах воздушного бассейна Горно-Алтайска в концентрациях, превышающих предельно допустимые значения, является высокое содержание микроэлемента в снеговом покрове, почве и донных отложениях.

Непосредственный контакт населения Горно-Алтайска, проживающего в частном секторе, с источником поступления Mn в организм наблюдается при эксплуатации твердотопливных отопительных систем в течение всего года, снижаясь лишь в летний период. Ингаляционный путь поступления микроэлемента в организм возможен при вдыхании угольной пыли и мелкодисперсных твёрдых частиц сажи. В данном исследовании выявлено достоверное увеличение количества жителей города с повышенным содержанием Mn в волосах с возрастом: с 9,8% в возрасте 4–17 лет до 16,4–15,6% в возрасте 18–55 лет ($p < 0,05$) (см. табл. 3). Вероятно, в возрасте 18–55 лет увеличивается бытовой контакт с источником поступления Mn во внутреннюю среду организма.

Таблица 5 / Table 5

Содержание Mn в природных адсорбентах Горно-Алтайска

The content of Mn in natural adsorbents in Gorno-Altai

Природные адсорбенты Горно-Алтайска Natural adsorbents of Gorno-Altai	ПДК MAC	Mn	Источник Resource
Осадковые воды / Sedimentary waters	0.1 мг/л (mg/L) ² 0.01 мг/л (mg/L) ³	0.16 мг/дм ³ (mg/dm ³)	[18]
Снеготалая вода агломерации / Snowmelt water	0.1 мг/дм ³ (mg/dm ³) ² 1.5 мг/л (mg/L) ³	850 мг/дм ³ (mg/dm ³)	[19]
Почва агломерации / Soil of the Gorno-Altai agglomeration	700 мг/кг (mg/kg) ²	756 мг/кг (mg/kg)	[20]
Донный осадок реки Майма в г. Горно-Алтайске Bottom sediment of the Maima River in Gorno-Altai	700 мг/кг (mg/kg) ²	793 мг/кг (mg/kg)	[19]

² СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий», утверждённые Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 3.

³ Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552 (ред. от 10.03.2020 г.) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (зарегистрирован в Минюсте России 13.01.2017 г. № 45203).

² SanPiN 2.1.3684-21 "Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures", approved by Resolution No. 3 of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021.

³ Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 13.12.2016 No. 552 (ed. dated 10.03.2020) "On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance" (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 13.01.2017 No. 45203).

Биоиндикационный анализ элементного состава лишайника (*Caloplaca* spp.) в пределах Горно-Алтайска показал аппроксимацию к типоморфному микроэлементному составу выбросов отопительных систем, работающих на кузнецком угле, что свидетельствует о преобладающем поступлении микроэлементов в растительную биоту из атмосферного воздуха [21].

В Горно-Алтайске отсутствуют крупные промышленные предприятия, несмотря на реализуемую программу газификации, и сохраняет свою актуальность проблема выбросов загрязнений от твердотопливных отопительных систем и автотранспорта. В настоящее время на территории города площадью 95,5 км² функционируют 10 центральных котельных, использующих в качестве топлива каменный уголь, большой процент выбросов от твердотопливных отопительных систем приходится на частный сектор⁴. География города отличается особенностями рельефа, расположения в межгорной котловине, движения воздушных масс и погодных условий, что объясняет слабое самоочищение воздушного бассейна города от загрязнений [22].

Результаты настоящего исследования, а также данные, полученные в предыдущих исследованиях на животных [23],

⁴ Доклад Автономного учреждения Республики Алтай «Алтайский региональный институт экологии» о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай. Доступно по: https://altai-republic.ru/society/doklad_nature

указывают на необходимость повышения уровня экологической культуры населения Горно-Алтайска, полного отказа от использования твёрдого ископаемого топлива.

Ограничения исследования. Поступление Mn в организм населения с частицами от выбросов твёрдого и жидкого топлива, взвешенными в воздухе, не оценивали. Данные о содержании Mn в воздушном бассейне Горно-Алтайска в доступных базах отсутствуют, о миграции элемента из аэротического звена в звенья геоценоза судили по данным литературы (содержание Mn в природных адсорбентах города: снег, почва, осадковые воды и др.).

Заключение

По количественному содержанию Mn в волосах населения Горно-Алтайска гипозементоз выявлен у 3,3% жителей, преимущественно в возрастной группе 4–17 лет, гиперэлементоз – у 17% обследованного населения. Процент гиперэлементоза и референтное значение концентрации Mn в волосах жителей административного центра Горного Алтая соответствуют значениям индустриальных регионов. Преимущественным источником избыточного накопления Mn в волосах человека признается его ингаляционное поступление во внутреннюю среду организма. На фоне низкой промышленной нагрузки в Горно-Алтайске остаётся актуальной проблема широкого использования ископаемого твёрдого топлива.

Литература

(п.п. 1, 5–7, 11–14, 16, 22 см. References)

- Шестова Г.В., Иванова Т.М., Ливанов Г.А., Сизова К.В. Токсические эффекты марганца как фактор риска для здоровья населения. *Медицина экстремальных ситуаций*. 2014; (4): 59–65.
- Зайцев Н.В., Землянова М.А. Экспериментальные модели и инструментальные исследования для оценки риска в гигиене и эпидемиологии. *Анализ риска здоровью*. 2018; (1): 89–97. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.10>
- Гаврылышена К.В., Гуревич Е.Б., Семенихин В.А., Стрижаков Л.А., Филимонов С.Н., Часовских Е.В. К вопросу о марганцевой интоксикации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(3): 206–10. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-3-206-210>
- Корчина Т.Я., Миняйло Л.А., Сафарова О.А., Корчин В.И. Сравнительные показатели содержания железа и марганца в волосах женщин Северного региона с различной очисткой питьевой воды. *Экология человека*. 2018; (4): 4–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-4-4-9>
- Скальный А.В., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г., Тармаева И.Ю., Киричук А.А. *Химические элементы в гигиене и медицине окружающей среды*. М.: РУДН; 2019.
- 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. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-4-38-44>
- Журба О.М., Ефимова Н.В., Меринов А.В., Алексеев А.Н. Биомониторинг содержания тяжёлых металлов в волосах детского населения на территории арктической зоны России. *Экология человека*. 2018; (5): 16–21. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-5-16-21>
- Снежко С.И., Шевченко О.Г. Источники поступления тяжёлых металлов в атмосферу. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2011; (18): 35–7.
- Ельчинойна О.А., Кузнецова О.В., Рождественская Т.А. Элементный состав атмосферных и поверхностных вод бассейна р. Майма. В кн.: *Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием*. Барнаул; 2017: 58–62.
- Ситникова В.А. *Оценка геоэкологического состояния компонентов окружающей среды на территории агломерации города Горно-Алтайска*: Автореф. дисс. ... канд. геозол. наук. Томск; 2018.
- Робертус Ю.В., Ситникова В.А. Особенности высотного распределения радионуклидов и тяжёлых металлов в почвах г. Горно-Алтайска. В кн.: *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V Международной конференции*. Томск; 2016: 568–71.
- Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Ситникова В.А. Элементный состав лишайника на шифере как биоиндикатор загрязнения атмосферы агломерации г. Горно-Алтайска. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018; 329(4): 70–8.
- Чанчаева Е.А., Лапин В.С., Кузнецова О.В., Куриленко Т.К., Айзман Р.И. Анализ содержания тяжёлых металлов в шерсти животных городской среды Республики Алтай. *Экология человека*. 2020; (12): 11–7. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-12-11-7>

References

- Coetzee D.J., McGovern P.M., Rao R., Harnack L.J., Georgieff M.K., Stepanov I. Measuring the impact of manganese exposure on children's neurodevelopment: advances and research gaps in biomarker-based approaches. *Environ. Health*. 2016; 15(1): 91. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0174-4>
- Shestova G.V., Ivanova T.M., Livanov G.A., Sizova K.V. Manganese toxic properties and manganese toxicity as a threat to public health. *Meditsina ekstremal'nykh situatsiy*. 2014; (4): 59–65. (in Russian)
- Zaytsev N.V., Zemlyanova M.A. Research on acute of toxicity of nanodisperse manganese oxide aerosol for predicting health for workers and population under inhalation exposure. *Анализ риска здоровью*. 2018; (1): 89–97. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.10> (in Russian)
- Gavrylyshena K.V., Gurevich E.B., Semeniikhin V.A., Strizhakov L.A., Filimonov S.N., Chasovskikh E.V. On the issue of manganese intoxication. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(3): 206–10. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-3-206-210> (in Russian)
- 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. *The Scientific World Journal*. 2018; 2018: 6852165. <https://doi.org/10.1155/2018/6852165>
- 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): 1–11.
- Roels H.A., Bowler R.M., Kim Y., Claus Henn B., Mergler D., Hoet P., et al. Manganese exposure and cognitive deficits: a growing concern for manganese neurotoxicity. *Neurotoxicology*. 2012; 33(4): 872–80. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2012.03.009>
- Korchina T.Ya., Minyaylo L.A., Safarova O.A., Korchin V.I. Comparative indicators of iron and manganese content in the hair of women living in the northern region with different treatment of drinking water. *Экология человека*. 2018; (4): 4–9. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-4-4-9> (in Russian)
- Skalnyy A.V., Grabeklis A.R., Skalnaya M.G., Tarmaeva I.Yu., Kirichuk A.A. *Chemical Elements in Environmental Hygiene and Medicine [Khimicheskie elementy v gigiene i meditsine okruzhayushchey sredy]*. Moscow: RUDN; 2019. (in Russian)
- Agadzhanyan N.A., Skalnyy A.V., Bereskina E.S., Demidov V.A., Grabeklis A.R., Skalnaya M.G. Reference values for chemical elements concentration in hair of adults in the Republic of Tatarstan. *Экология человека*. 2016; (4): 38–44. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-4-38-44> (in Russian)

11. Jursa T., Stein C.R., Smith D.R. Determinants of hair manganese, lead, cadmium and arsenic levels in environmentally exposed children. *Toxics*. 2018; 6(2): 19. <https://doi.org/10.3390/toxics6020019>
12. Senofonte O., Violante N. 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)
13. Czerny B., Krupka K., Ożarowski O., Seremak-Mrozikiewicz A. Screening of trace elements in hair of the female population with different types of cancers in Wielkopolska Region of Poland. *Sci. World J.* 2014; 2014: 953181. <https://doi.org/10.1155/2014/953181>
14. 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>
15. Zhurba O.M., Efimova N.V., Merinov A.V., Alekseenko A.N. Biological monitoring of content of heavy metals in hair of children in the arctic zone of Russia. *Ekologiya cheloveka*. 2018; (5): 16–21. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2018-5-16-21> (in Russian)
16. 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>
17. 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)
18. El'chinina O.A., Kuznetsova O.V., Rozhdestvenskaya T.A. Microelement composition of atmospheric and surface water of Maima river basin. In: *Water and Environmental Problems of Siberia and Central Asia. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation [Vodnye i ekologicheskie problemy Sibiri i Tsentral'noy Azii. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. Barnaul; 2017: 58–62. (in Russian)
19. Sitnikova V.A. *Assessment of the geoecological state of environmental components in the territory of the Gorno-Altai agglomeration*: Diss. Tomsk; 2018. (in Russian)
20. Robertus Yu.V., Sitnikova V.A. Features the altitude distribution of radionuclides and heavy metals in the soils of the Gorno-Altai. In: *Radioactivity and Radioactive Elements in the Human Environment. Proceedings of the V International Conference [Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka. Materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii]*. Tomsk; 2016: 568–71. (in Russian)
21. Robertus Yu.V., Rikhvanov L.P., Sitnikova V.A. Elemental composition of lichen on roofing slate as bioindicator of air pollution in Gorno-Altai. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2018; 329(4): 70–8. (in Russian)
22. Karanin A., Sukhova M., Kocheeva N., Zhuravleva O., Nikolchenko Y., Bakulin A., et al. Studying the dynamics of aridization processes of mountain ecosystems using remote sensing data (case study of Southeastern Altai). *Geografija v Soli*. 2016; 24(2–3): 80–91. (in Slovenian)
23. Chanchaeva E.A., Lapin V.S., Kuznetsova O.V., Kurilenko T.K., Ayzman R.I. Concentrations of heavy metals in animal hair in an urban setting in the Altai Republic. *Ekologiya cheloveka*. 2020; (12): 11–7. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-12-11-17> (in Russian)