

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2023

Читать
онлайн
Read
online

Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н.

Оценка содержания тяжёлых металлов и мышьяка в снеговом покрове и волосах детей

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия

Введение. Загрязнение окружающей среды приводит к необходимости регулярного контроля и анализа содержания токсичных элементов в компонентах среды и в биосубстратах населения для определения степени загрязнения территории, накопления их в организме и оценки риска нарушения здоровья.

Материалы и методы. Проведён отбор проб снежного покрова на 11 различных участках функциональных зон, а также исследованы 52 образца волос в двух группах детей в разных школах города. Определение содержания водорастворимых тяжёлых металлов и мышьяка (ТММ) проводили атомно-абсорбционным методом на приборе ААС-240 DUO «Agilent Technologies».

Результаты. В снеговом покрове отдельных функциональных зон г. Свирска обнаружено значительное превышение содержания Cu, Zn, Mn, Cd, Pb и As по сравнению с фоновыми значениями в пределах 2–11 раз. Выявлены индикаторные элементы (Mn, Cr, Zn, Cd, As), отражающие специфику повышенного накопления ТММ в волосах у детей в разных зонах города. Установлены сильные корреляционные связи ($r = 0,78-0,83$) между содержанием ТММ в снежном покрове возле школ и в волосах обследованных групп детей.

Ограничения исследования. Оценка содержания ТММ в снежном покрове и в волосах детского населения проведена без определения накопления элементов в почве и миграции в растительные культуры.

Заключение. Выявленные высокие уровни накопления ТММ в снежном покрове и в волосах детей г. Свирска, обусловленные значительным техногенным воздействием выбросов промышленных предприятий, автотранспорта и жилищных домохозяйств, свидетельствуют о напряжённости экологической ситуации в городе и необходимости осуществления комплекса мер по её улучшению.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; мышьяк; снег; волосы; дети; территории города

Соблюдение этических стандартов. Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами проведения исследований, изложенных в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.). Все участники исследования подписали форму информированного согласия.

Для цитирования: Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В., Журба О.М., Алексеенко А.Н. Оценка содержания тяжёлых металлов и мышьяка в снеговом покрове и волосах детей. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(12): 1266–1271. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1266-1271> <https://elibrary.ru/oupzaa>

Для корреспонденции: Шаяхметов Салим Файзыевич, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск. E-mail: salimf53@mail.ru

Участие авторов: Шаяхметов С.Ф. — концепция и дизайн исследования, интерпретация результатов, написание текста, редактирование; Меринов А.В. — анализ проб и обработка данных, анализ результатов исследований, редактирование, оформление таблиц, списка литературы; Журба О.М. — концепция и дизайн исследования, поиск информации; Алексеенко А.Н. — концепция и дизайн исследования, сбор материала. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделяемых для выполнения государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Поступила: 09.06.2023 / Принята к печати: 15.11.2023 / Опубликовано: 28.12.2023

Salim F. Shayakhmetov, Alexey V. Merinov, Olga M. Zhurba, Anton N. Alekseenko

Assessment of the content of heavy metals in the snow cover and hair in children

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

Introduction. Environmental pollution leads to the need for regular monitoring and analysis of the content of toxic elements in the components of the environment and biosubstrates of the population to determine the degree of contamination of the territory, their accumulation in the body and assess the risk of health disorders.

Materials and methods. Samples of snow cover were taken from eleven different sections of functional zones, and 52 hair samples were examined in two groups of children in different schools of the city. Determination of the content of water-soluble heavy metals and arsenic (HMAr) was carried out by atomic absorption method on the AAC-240 DUO “Agilent Technologies” device.

Results. In the snow cover of individual functional zones of Svirsk, a significant excess of Cu, Zn, Mn, Cd, Pb, and As content was found in comparison with background values in the range of 2–11 times. Indicator elements (Mn, Cr, Zn, Cd, As) reflecting the specifics of increased accumulation of HMAr in the hair of children in different areas of the city were identified. Strong correlations ($r = 0.78-0.83$) were established between the content of HMAr in the snow cover near schools and in the hair in the examined groups of children.

Limitations. The assessment of content of HMs in the snow cover and in the hair in children population was evaluated without determining the accumulation of elements in the soil and migration to plant cultures.

Conclusion. The revealed high levels of accumulation of HMAr in the snow cover and hair in children in Svirsk, due to the significant anthropogenic impact of emissions from industrial enterprises, motor vehicles, and residential households, indicate the tension of the environmental situation in the city and the need to implement a set of measures to improve it.

Keywords: heavy metals; arsenic; snow; hair; children; city territories

Compliance with ethical standards. The study was carried out in accordance with the ethical principles of research set out in the Helsinki Declaration of the World Medical Association (ed. 2013). All study participants signed an informed consent form.

For citation: Shayakhmetov S.F., Merinov A.V., Zhurba O.M., Alekseenko A.N. Assessment of the content of heavy metals in the snow cover and hair in children. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(12): 1266–1271. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1266-1271> <https://elibrary.ru/oupzaa> (In Russ.)

For correspondence: *Salim F. Shayakhmetov*, MD, PhD, DSci., professor, leading researcher of the Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring of the East-Siberian institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: salimf53@mail.ru

Information about the authors:

Shayakhmetov S.F., <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133> Merinov A.V., <https://orcid.org/0000-0001-7848-6432>
Zhurba O.M., <https://orcid.org/0000-0002-9961-6408> Alekseenko A.N., <https://orcid.org/0000-0003-4980-5304>

Contribution: *Shayakhmetov S.F.* – research concept and design, interpretation of results, text writing, editing; *Merinov A.V.* – sample analysis and data processing, analysis of research results, editing, design of tables, references; *Zhurba O.M.* – research concept and design, search for information; *Alekseenko A.N.* – concept and design of the study, collection of material. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship. The work was performed within the framework of funds allocated for the implementation of the state task East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: June 9, 2023 / Accepted: November 15, 2023 / Published: December 28, 2023

Введение

Загрязнение окружающей среды вредными отходами и выбросами промышленных предприятий достигло в настоящее время широких масштабов. Наиболее распространёнными и опасными техногенными загрязнителями внешней среды являются соединения тяжёлых металлов и металлоидов. Их негативное влияние на человека проявляется не только при прямом воздействии высоких концентраций в воздухе, но и при накоплении в компонентах природной среды (снег, вода, почва) и растительных культурах, из которых они поступают в организм людей [1–4].

По данным Минприроды России, в перечне городов – лидеров рейтинга по уровню загрязнения окружающей среды, требующих неотложного решения экологической проблемы, наряду с городами Братск, Усолье-Сибирское, Шелехов, Красноярск и др. на протяжении многих лет значится г. Свирск. Загрязнение окружающей среды приводит к необходимости регулярного контроля и анализа содержания токсичных элементов в компонентах среды и в биосубстратах населения. При этом изучение химического состава снегового покрова и волос людей даёт важную информацию об интенсивности, дальности и степени загрязнения территории, а также накоплении тяжёлых металлов в организме [5–7].

Урбанизированная территория г. Свирска расположена в центральной части Иркутско-Черемховской равнины на террасированном склоне долины р. Ангары в 150 км от областного центра (г. Иркутск). По занимаемой территории (38,6 км²) и численности населения (12 602 человека) город относится к малым промышленным городам Иркутской области. Город имеет плотную застройку многоэтажными жилыми зданиями, сосредоточенными в центре города, и по периферии – малоэтажными домами частного сектора. Климат резко континентальный с длительной холодной зимой и коротким тёплым летом. В зимний период часто наблюдается штилевая погода, приводящая к температурной инверсии и формированию смога.

В настоящее время основными источниками поступления техногенных выбросов в окружающую среду г. Свирска является ряд промышленных предприятий (заводы «Автоспецдеталь», мостостроительный, рудоремонтный, ремонтно-механический, аккумуляторный «Актех-Байкал», деревообрабатывающий ТМ «Байкал»), объекты теплоснабжения (ТЭЦ, котельные), домовые печи, автотранспорт. Одним из факторов, усложняющих экологическое неблагополучие городской среды, служат промплощадки бывших предприятий по производству мышьяка (Ангарский металлургический завод 1934–1949 гг.) и свинцовых аккумуляторов (завод «Востсибэлемент» 1939–2000 гг.).

В ряде работ, отражающих состояние почвенного покрова в г. Свирске, отмечено высокое содержание Pb, As, Zn, Cu, Ni, Cd, превышающее допустимые нормы в десятки и сотни раз, преимущественно на промышленных площадках бывших заводов [8, 9]. Выявлены также высокие концентрации тяжёлых металлов и мышьяка (ТММ) в сельскохозяйственной культуре – картофеле, выращенном в пригородных садоводческих участках. Вместе с тем представляется

важным изучение содержания растворимых форм ТММ в атмосферных выпадениях снега и волосах детей, являющиеся надёжным индикатором техногенного воздействия действующих предприятий на экосистему и население города.

Цель исследования – эколого-гигиеническая оценка загрязнения снежного покрова водорастворимыми ТММ и анализ их содержания в волосах детей на урбанизированной территории г. Свирска.

Материалы и методы

Объектами изучения являлись аккумулирующие ТММ снеговой покров и волосы детей, постоянно проживающих на урбанизированной территории г. Свирска. Район исследования представляет собой разные функциональные городские зоны поступления выбросов от промышленных предприятий, включая промплощадки прекративших деятельность вредных производств.

Отбор проб снега проводили на 11 участках (промышленная зона: точки (Т.) 1 – деревообрабатывающее предприятие ООО «ТМ Байкал», Т. 2 – территория бывшего АМЗ, Т. 3 – промплощадка бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент», Т. 4 – район ул. Промучасток вблизи ТЭЦ и ООО «Актех»; жилые зоны: а) многоэтажный жилой сектор (Т. 5 – школа № 1, Т. 6 – школа № 3), б) частный жилой сектор с печным отоплением (Т. 7 – территория школы в районе мкр. Макарьево, Т. 8 – район садоводства «Виктория», Т. 9 – район ул. Комсомольская); лесопарковая зона (Т. 10 – район ул. Совхозная, прибрежный лесной массив); фоновая зона (Т. 11 – открытая местность в районе с. Чемодариха) в период начала снеготаяния в середине марта, методом конверта по 5 ядер (10 × 10 см) на всю глубину снега в каждом участке (точке) в соответствии с РД 52.04–186–89¹. Качество снега оценивали в 4 функциональных зонах: промышленной (Т. 1–4); жилые – в многоэтажной жилой застройке (Т. 5, 6) и одноэтажном жилом секторе (Т. 7–9); лесопарковой (Т. 10) и фоновой (Т. 11) зонах.

Отобранные пробы доставляли в лабораторию в замороженном виде, оттаивали при комнатной температуре и талую воду фильтровали через фильтры средней плотности (синяя лента). В фильтрах талой воды определяли содержание приоритетных растворимых форм элементов-загрязнителей (Cu, Zn, Mn, Fe, Cr, Cd, Pb, As).

На основе полученных значений ТММ в снеговом покрове в различных функциональных зонах урбанизированной территории проводили расчёт ряда эколого-геохимических и гигиенических показателей: коэффициента концентрации $K_c = C_i/C_f$, где C_i и C_f – фактическая и фоновая концентрация элемента в пробе (мкг/л), суммарного показателя загрязнения талой воды $Z_c = \sum K_c$; – ($n - 1$), где n – число учитываемых элементов².

¹ РД 52.04.186–89. Руководство по контролю атмосферы. М.: Госгидромет, МЗ СССР, 1991.

² Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ; 1990.

Таблица 1 / Table 1

Содержание ТММ (мкг/л) в снеговом покрове различных участков функциональных зон г. Свирска
The content of HMAr in the snow cover in various parts of the functional zones of the city of Svirsk ($\mu\text{g/L}$)

Зона Zone	Участок Site		Химический элемент / Chemical element								Z _c
			Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Pb	As	
Промышленная Industrial	Т. 1	ТММ	130	35.0	83.0	26.0	17.5	4.5	49.5	0.29	6.8
		Кс	2.0	1.2	0.4	0.9	1.1	4.5	1.9	1.8	
	Т. 2	ТММ	9.0	35.0	64.0	24.0	12.5	3.0	43.0	0.14	3.1
		Кс	1.4	1.2	0.3	0.8	0.8	3.0	1.7	0.9	
	Т. 3	ТММ	41.5	35.0	87.5	272.5	22.5	3.5	47.5	0.19	18.4
		Кс	6.4	1.2	0.5	9.4	1.4	3.5	1.8	1.2	
Т. 4	ТММ	5.0	45.0	413.5	71.5	9.0	3.0	115.0	0.66	12.1	
	Кс	0.8	1.5	2.2	2.5	0.6	3.0	4.4	4.1		
Жилая многоэтажная Multi-storey residential	Т. 5	ТММ	9.0	65.0	238.0	150.0	27.5	5.0	44.0	0.05	11.7
		Кс	1.4	2.2	1.2	5.2	1.7	5.0	1.7	0.3	
	Т. 6	ТММ	14.5	75.0	178.5	87.0	25.0	5.0	42.0	0.03	10.0
		Кс	2.2	2.5	0.9	3.0	1.6	5.0	1.6	0.2	
Жилая одноэтажная One-storey residential	Т. 7	ТММ	3.0	70.0	119.0	44.0	12.5	3.0	56.0	0.18	5.0
		Кс	0.5	2.3	0.6	1.5	0.8	3.0	2.2	1.1	
	Т. 8	ТММ	8.5	260.0	263.0	82.0	24.0	11.0	45.5	0.53	24.7
		Кс	1.3	8.6	1.4	2.8	1.5	11.0	1.8	3.3	
	Т. 9	ТММ	6.5	250.0	25.5	28.0	28.9	4.0	40.0	0.07	3.5
		Кс	1.0	0.8	0.1	1.0	1.7	4.0	1.5	0.4	
Рекреационная Recreational	Т. 10	ТММ	10.0	50.0	52.5	82.5	19.5	3.5	46.5	0.12	6.6
		Кс	1.5	1.7	0.3	2.8	1.2	3.5	1.8	0.8	
Город City	Средняя по Т. 1–10 Average on T. 1–10	ТММ	12	69.5	152.5	86.8	19.8	4.6	52.9	0.23	10
		Кс	1.8	2.3	0.8	3.0	1.2	4.6	2.0	1.4	
Фон / Background	Т. 11	ТММ	6.5	30.0	192.5	29.0	16.0	1.0	26.0	0.16	–

Примечание. ТММ – содержание ТММ; Кс – коэффициент концентрации (накопления); Z_c – показатель суммарного загрязнения.
Note: ТММ – HMAr content; Кс – the coefficient of concentration (accumulation); Z_c is an indicator of total pollution.

Для оценки техногенной нагрузки ТММ на организм населения выполнен анализ содержания элементов в волосах двух групп детей: обучающихся в школе № 3, расположенной в центральной части города в районе многоэтажной жилой застройки (25 детей, возраст 11–13 лет), и в школе микрорайона Макарьево, находящейся на территории одноэтажного жилого сектора, с печным отоплением (27 детей, возраст 7–13 лет).

Отбор проб волос у детей производили с затылочной части головы сотрудники лаборатории эколого-гигиенических исследований института (руководитель д.м.н. Панков В.А.). Образцы волос помещали в отдельные конверты с соответствующей маркировкой. Результаты анализа содержания элементов в волосах сравнивали с референтными значениями, установленными для детского населения Иркутской области [10, 11].

Для определения содержания ТММ в снеговом покрове и волосах использовали двойную атомно-абсорбционную систему с пламенной и электротермической атомизацией Agilent AAS Duo 240 FS/240 Z/Ultr AA. Исследования проводились с соблюдением этических принципов, изложенных в Хельсинкской декларации (с поправками 2008 г), и правилами клинической практики в РФ (Приказ МЗ РФ от 19.06.2023 г. № 166). Статистическую обработку проводили с применением программ Microsoft Excel и статистического программного обеспечения Jamovi (version 2.3). Сравнение количественных показателей осуществляли с использованием непараметрического критерия Манна – Уитни и коэффициента корреляции Спирмена.

Результаты

Анализ химического состава атмосферных выпадений в снежном покрове предусматривал оценку уровня содержания водорастворимых форм элементов в пробах снега, отобранных в различных функциональных зонах и участках территории города (табл. 1). В снеговом покрове урбанизированной территории г. Свирска обнаружены все определяемые химические элементы. Концентрации каждого элемента ТММ в пробах снега варьировались в различном диапазоне величин и имели неоднородный характер пространственного распределения на территории города. Различие диапазона колебаний величин в общей выборке проб в наибольшей степени проявлялось по содержанию As (в 22 раза), Fe (в 16,2 раза), Cu (в 14 раз), в средней степени – Mn (в 11,3 раза), Zn (в 10,4 раза) и в меньшей – Cd (в 3,6 раза), Cr (в 3,1 раза), Pb (в 2,9 раза). Относительный вклад каждого элемента в общую концентрацию растворимых форм металлов в снеговых выпадениях города в среднем составил: Fe – 38,3%, Mn – 21,8%, Zn – 17,4%, Pb – 13,2%, Cr – 5%, Cu – 3%, Cd – 1,2%, As – 0,1%.

Наибольшие концентрации по Zn отмечены в точках 6 (75 мкг/л), 7 (70 мкг/л) и 8 (260 мкг/л); по Fe – в точках 4 (413,5 мкг/л), 5 (238 мкг/л) и 8 (263 мкг/л); по Mn – в точках 3 (272,5 мкг/л) и 5 (150 мкг/л); по Cr – в точках 3 (22,5 мкг/л), 5 (27,5 мкг/л), 6 (25 мкг/л), 8 (24 мкг/л) и 9 (28,9 мкг/л). Для Cd максимум значений зафиксирован в точках 5 (5 мкг/л), 6 (5 мкг/л), 8 (11 мкг/л); Pb – в точках 4 (115 мкг/л) и 7 (56 мкг/л); As – в точках 4 (0,66 мкг/л) и 8 (0,53 мкг/л); Cu – в точке 3 (41,5 мкг/л).

Таблица 2 / Table 2

Содержание химических элементов (мкг/г) в волосах детского населения на территории г. Свирск
The content of elements in the hair in the children population in the territory of Svirsk, µg/g

Химический элемент Chemical element	Концентрация элементов Concentration of elements	Группа / Group		p	R, мкг/г (µg/g)
		1	2		
Fe	Me (Q ₂₅ –Q ₇₅)	30.9 (26.7–37.2)	24.2 (19.3–30.9)	0.007	32.1 [10]
	Min–Max	21.0–114.9	12.8–96.1		
Mn	Me (Q ₂₅ –Q ₇₅)	19.6 (17.6–20.9)	15.1 (11.5–16.1)	0.001	0.82 [10]
	Min–Max	3.1–23.6	1.5–25.7		
Zn	Me (Q ₂₅ –Q ₇₅)	187.3 (139.8–341.7)	229.7 (208.6–340.8)	0.07	125.8 [10]
	Min–Max	108.5–652.6	150.4–794.7		
Cu	Me (Q ₂₅ –Q ₇₅)	10.0 (7.7–12.3)	10.1 (8.9–11.6)	0.48	5.54 [10]
	Min–Max	4.5–13.4	5.3–16.1		
Cr	Me (Q ₂₅ –Q ₇₅)	3.1 (2.3–3.7)	3.7 (3.2–5.4)	0.01	0.38 [11]
	Min–Max	1.4–10.8	0.7–10.3		
Pb	Me (Q ₂₅ –Q ₇₅)	0.08 (0.03–0.5)	0.16 (0.04–0.6)	0.12	1.24 [10]
	Min–Max	0.03–2.6	0.03–2.7		
Cd	Me (Q ₂₅ –Q ₇₅)	0.05 (0.04–0.07)	0.07 (0.04–0.09)	0.13	0.037 [10]
	Min–Max	0.02–0.13	0.01–0.18		
As	Me (Q ₂₅ –Q ₇₅)	0.02 (0.01–0.02)	0.06 (0.03–0.07)	0.001	0.021 [11]
	Min–Max	0.01–0.03	0.02–0.09		

Примечание. Группа 1 – дети школы № 3 в центре города; группа 2 – дети школы в мкр. Макарьево; R – региональные референтные уровни содержания элементов в волосах детского населения; различия между сравниваемыми группами статистически значимы при $p < 0,05$.
Note: Group 1 – children from the school No. 3 in the city center; Group 2 – children of the school in microdistrict Makaryevo; R – regional reference levels of the content of elements in the hair in the children's population; differences between the compared groups are statistically significant at $p < 0.05$.

Для оценки уровня загрязнения снежного покрова на разных участках функциональных зон города результаты анализа проб интерпретированы путём сравнения с фоновыми показателями с определением коэффициентов техногенной концентрации (Кс) и суммарного загрязнения снега (Z_с) водорастворимых ТММ (табл. 1). Высокие показатели (более 2 единиц) коэффициента концентрации (накопления) для Cd (3–11) зафиксированы на всех участках (точках) отбора проб снега; Mn (2,8–9,4) – в точках 3, 4, 5, 6, 8, 10; Zn (2,2–8,6) – в точках 5, 6, 7, 8; Cu (6,4–2,2) – в точках 3 и 6; Pb (4,4 и 2,2) – в точках 4 и 7, As (4,1 и 3,3) – в точках 4 и 8 соответственно. По показателю суммарного загрязнения снега водорастворимыми ТММ наибольшие значения определены на промплощадке бывшего завода «Востсибэлемент» (18,4 – Т. 3), в районах садоводства «Виктория» (24,7 – Т. 8), школ № 1 (11,7 – Т. 5) и № 3 (10 – Т. 6), ТЭЦ и ООО «Актех-Байкал» (12,1 – Т. 4), меньшие – в районе школы мкр. Макарьево (5 – Т. 7), прибрежного лесного массива (6,6 – Т. 10), на промплощадке АМЗ (3,1 – Т. 2), в районах ул. Комсомольской (3,5 – Т. 9).

Результаты определения содержания металлов в волосах детей г. Свирска представлены в табл. 2. Как видно из таблицы, медианные концентрации Fe и Mn в волосах у группы детей, обучающихся в школе № 3 (группа 1), находящейся в центре города с многоэтажной застройкой, достоверно превышали значения у группы учащихся школы мкр. Макарьево (группа 2), расположенной в одноэтажном жилом секторе. При этом содержание Cr и As в волосах у детей школы мкр. Макарьево (группа 2) было, наоборот, статистически значимо выше, чем у детей школы № 3 (группа 1). Кроме этого, у детей из Макарьевской школы прослеживалась тенденция ($p = 0,07$) к большому содержанию Zn в волосах по сравнению с детьми из школы № 3 в центре города. По содержанию Cu, Pb, Cd в волосах у детей данных школ отмечены одинаковые или статистически незначимые различия величин.

Сравнение измеренных значений элементов в волосах детей обеих школ с региональными референтными показателями выявило следующие особенности: по ряду металлов медианные концентрации не выходили за пределы (Fe, Pb и As – только у детей школы № 3) референтных уровней или превышали их не более чем в 2 раза (Zn, Cu, Cd и As – у детей школы в Макарьево). Отличия для Mn и Cr в волосах детей Макарьевской школы превышали эти показатели в 18,4 и 9,7 раза, а у детей школы № 3 – в 24 и 8,2 раза соответственно. Различие в степени превышения референтных значений содержания элементов в волосах у детей школы мкр. Макарьево по As (в 1,5 раза), Zn (в 1,8 раза), Cd (в 1,9 раза), Cr (в 9,7 раза) было большим, чем у детей школы № 3 (As – 0, Zn – 1,5 раза, Cd – 1,4 раза, Cr – 8,2 раза). По количеству Mn в волосах максимальное отклонение от референтного уровня зафиксировано у детей школы № 3 (24 раза), а по Cu кратность превышения показателя имела равное значение (1,8 раза) в обследуемых группах детей.

Обсуждение

Высокая степень техногенной нагрузки токсичных тяжёлых металлов на современную урбоэкосистему и население определяет важность изучения химического состава атмосферных выпадений промышленных городов [12, 13]. Одним из удобных и надёжных индикаторов техногенного воздействия и пространственного распределения формируемых им загрязнений является состояние снегового покрова, о чём свидетельствует большое количество публикаций [14–19].

Согласно данным Министерства природных ресурсов и экологии Иркутской области, в 2021 г. уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Свирск определён как очень высокий. Среднегодовые концентрации взвешенных веществ, включающие ТММ, превышали ПДК в 2,2 раза, максимальные разовые концентрации достигали 12 ПДК [20]. С гигиенической точки зрения наибольший интерес представляет

анализ содержания растворимых форм ТММ в атмосферных выпадениях снега, поскольку они биологически активны и более подвижны, быстро поступают в организм и вызывают нарушения здоровья населения.

Анализ результатов исследования снегового покрова на территории г. Свирска показал, что контаминация снега выпадениями взвешей ТММ из атмосферы приводит к формированию техногенного загрязнения исследуемых функциональных зон и участков города. Содержание растворимых форм элементов-токсикантов в сравниваемых участках города варьируется в широких пределах. Господствующее направление северо-западных и юго-восточных ветров способствует переносу поллютантов в разные части города, формируя мозаичность распределения ТММ в пространстве. Для снегового покрова агломерации г. Свирска характерны как высокие, так и относительно низкие уровни загрязнения отдельными ТММ, а также существенные различия концентраций многих элементов на разных участках наблюдения по сравнению с фоном в пределах 2–11-кратного превышения.

В целом средние показатели накопления (Кн) ТММ в снеговом покрове на всей урбанизированной территории города возрастает в ряду: $C_{Г1,2} \rightarrow As_{1,4} \rightarrow Cu_{1,8} \rightarrow Pb_2 \rightarrow Zn_{2,3} \rightarrow Mn_3 \rightarrow Cd_{4,6}$. При этом максимумы показателя Кн для Cd зафиксированы в районе садоводства «Виктория» (11), школ № 1 и № 3 (5); Mn – на промплощадке «Востсибэлемент» (9,4) и возле школы № 1 (5,1); Zn – в садоводстве «Виктория» (8,6); Cu – на промплощадке бывшего завода «Востсибэлемент» (6,4); Pb – в районе ТЭЦ и «Актех-Байкал» (4,4); As – в районе садоводства «Виктория» (3,3), ТЭЦ и «Актех-Байкал» (4,1). Максимальные уровни суммарного загрязнения снега ТММ (Zc) наблюдаются в районе садоводства «Виктория» (24,7) и на территории бывшего завода «Востсибэлемент» (18,4) со снижением в районе ТЭЦ и «Актех-Байкал» (12,1), школы № 1 (11,7), № 3 (10) и на остальных участках города (3,1–6,8). Полученные данные свидетельствуют о существенном аэральном химическом загрязнении снегового покрова ТММ на изучаемой территории.

Известно, что техногенное воздействие ТММ на население приводит к аккумуляции элементов в организме и в конечном итоге к развитию болезней сердечно-сосудистой, костно-мышечной, нервной и дыхательной систем, аутоиммунных, онкологических и других заболеваний [1, 7, 16, 21, 22]. Анализ содержания металлов в тканях, особенно в волосах населения, позволяет определить степень накопления их в организме и опасность загрязнения окружающей среды на изучаемой территории для здоровья населения [5, 7, 23, 24].

Результаты проведенных нами исследований показывают, что у детей г. Свирска наблюдаются повышенные медианные значения содержания Zn, Cu, Cd, As, Cr и Mn в волосах, превышающие региональные референтные уровни в 1,4–24 раза. При этом самые высокие отклонения от референтных уровней зафиксированы для Mn и Cr, кратность превышения которых в обследованных группах детей обеих школ составляет 18,4–24 и 8,2–9,7 раза соответственно.

Сравнительный анализ данных содержания элементов у детей разных школ показывает, что в группе учащихся школы мкр. Макарьево, расположенной в малоэтажном

частном жилом секторе, отмечаются достоверно более высокие уровни содержания Cr и As в волосах, а у учащихся школы № 3, находящейся в центре города с многоэтажной застройкой, – Fe и Mn. По степени превышения содержания ТММ над референтными значениями накопление элементов в волосах у детей школы мкр. Макарьево возрастает в ряду $As_{1,5} \rightarrow Cu_{1,8} \rightarrow Zn_{1,8} \rightarrow Cd_{1,9} \rightarrow Cr_{9,7} \rightarrow Mn_{18,4}$, у детей школы № 3 – $Cd_{1,4} \rightarrow Zn_{1,5} \rightarrow Cu_{1,8} \rightarrow Cr_{8,2} \rightarrow Mn_{24}$. Статистический корреляционный анализ элементных нагрузок выявил наличие сильной связи ($p < 0,05$) между концентрациями металлов в снеговом покрове возле школ и содержанием их в волосах у учащихся детей школы № 3 (r Спирмена 0,83) и Макарьевской школы (r Спирмена 0,78). С высокой степенью вероятности это свидетельствует о вкладе загрязнения воздуха ТММ в накопление элементов в организме детского населения. Кроме этого, у жителей Свирска также возможно поступление ТММ в организм с употребляемой пищей, овощной продукцией, выращенной на собственных огородах и садовых участках [8], что делает важным дальнейшее изучение содержания этих поллютантов во всей растениеводческой продукции.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлены высокие уровни накопления ТММ в снежном покрове и в волосах у обследованных групп детей на территории г. Свирска, что обусловлено значительным техногенным воздействием газо-аэрозольных выбросов промышленных предприятий, автотранспорта и жилищных домохозяйств. Ряд элементов-токсикантов (Cd, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr, As), содержание которых высокое (более 2–11 раз выше фоновых значений) в снежном покрове, могут поступать при сжигании угля на ТЭЦ и в печах домов частного жилого сектора. Наибольшее значение суммарного показателя загрязнения снега водорастворимыми ТММ отмечается на территории садоводства «Виктория» и бывшего завода «Востсибэлемент» со снижением в районе ТЭЦ и ООО «Актех-Байкал», школ № 1, № 3 и других участках города.

Выявлены индикаторные элементы, отражающие особенности накопления ТММ в волосах у детей школ в разных зонах города. Показатель накопления ТММ в волосах у учащихся школы мкр. Макарьево возрастает в следующей последовательности: $As_{1,5} \rightarrow Cu_{1,8} \rightarrow Zn_{1,8} \rightarrow Cd_{1,9} \rightarrow Cr_{9,7} \rightarrow Mn_{18,4}$, у детей школы № 3 в центре города: $Cd_{1,4} \rightarrow Zn_{1,5} \rightarrow Cu_{1,8} \rightarrow Cr_{8,2} \rightarrow Mn_{24}$. Установлены сильные корреляционные связи ($r = 0,78–0,83$) между содержанием ТММ в снежном покрове и в волосах у обследованных детей обеих школ. Обнаруженные высокие уровни содержания ТММ в снежном покрове и в волосах детского населения свидетельствуют о напряженности экологической ситуации в городе и актуальности осуществления комплекса мер по её улучшению. Результаты исследований могут быть использованы для принятия управленческих решений и разработки профилактических мероприятий. Необходим регулярный контроль за содержанием ТММ в атмосферном воздухе, снежном и почвенном покрове, растениеводческих культурах, а также в организме населения для выявления групп риска нарушения здоровья.

Литература

(п.п. 3, 4, 14, 22, 23 см. References)

- Ефимова Н.В., Мыльникова И.В., Парамонов В.В., Кузьмина М.В., Гребенщикова В.И. Оценка химического загрязнения и риска для здоровья населения Иркутской области. *География и природные ресурсы*. 2016; (S6): 99–103. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(99-103\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(99-103)) <https://elibrary.ru/xqxyuv>
- Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. Оценка загрязнения почв и растений в зоне воздействия газовой воздушных выбросов алюминиевого завода. *Георетическая и прикладная экология*. 2015; (4): 64–8. <https://elibrary.ru/vlezux>
- Скальный А.В. *Химические элементы в физиологии и экологии человека*. М.: Мир; 2004. <https://elibrary.ru/xqpbzh>
- Сазонова Т.В., Рязанова Т.К., Сергеев А.К., Судакова Т.В., Торопова Н.М., Вистяк Л.Н. Эколого-гигиенические особенности антропогенного загрязнения снегового покрова в промышленном городе. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНССО*. 2018; (2): 34–8. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-299-2-34-38> <https://elibrary.ru/ytztfq>
- Чанчаева Е.А., Гржибовский А.М., Куриленко Т.К., Малков П.Ю. Концентрация кадмия в волосах населения субъектов Российской Федерации: систематический надзор. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(1): 40–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-40-49> <https://elibrary.ru/ikzflc>

Original article

8. Кузьмина О.В., Пройдакова О.А., Янчук Т.М. Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды г. Свирска (Иркутская область). *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. 2015; (11): 81–92. <https://elibrary.ru/tsxkoz>
9. Богданов А.В., Шатрова А.С., Тюкалова О.В. Оценка воздействия промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» Иркутской области на объекты окружающей среды. *Экология и промышленность России*. 2022; 26(3): 52–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-3-52-57> <https://elibrary.ru/hsddyc>
10. Ефимова Н.В., Лисецкая Л.Г., Журба О.М., Тараненко Н.А., Боева А.В., Дьякович О.А. и др. *Региональные референсные уровни содержания химических веществ в биосубстратах населения Иркутской области. Методические рекомендации*. Ангарск; 2013.
11. Скальный А.В., Киселёв М.Ф., ред. *Элементный статус России. Часть 5. Элементный статус населения Сибирского и Дальневосточного федерального округов*. СПб.: Медкнига «ЭЛБИ»; 2014. <https://elibrary.ru/vinxkj>
12. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А. *Физико-химические исследования и методы контроля веществ в гигиене окружающей среды*. СПб.: Профессинал; 2014.
13. Журба О.М., Алексеенко А.Н., Шаяхметов С.Ф., Меринов А.В. Оценка содержания загрязнений в аккумулятирующих природных средах в условиях техногенной нагрузки. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(10): 1049–54. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1049-1054> <https://elibrary.ru/atojrh>
15. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Лопатина Д.Н., Янчук М.С. Загрязнение снега на акватории оз. Байкал и прилегающей территории. *Водные ресурсы*. 2017; 44(3): 340–53. <https://doi.org/10.7868/S032105961703004X> <https://elibrary.ru/yrwghq>
16. Журба О.М., Ефимова Н.В., Ханхареев С.С., Алексеенко А.Н., Меринов А.В., Мадеева Е.В. и др. Оценка контаминации снегового покрова для выявления зон ингаляционного риска. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(4): 363–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-4-363-367> <https://elibrary.ru/jqlnch>
17. Бондаревич Е.А., Кошоржинская Н.Н., Лескова О.А., Михайлова Л.А., Самойленко Г.Ю. Мониторинг уровня загрязнения атмосферы по накоплению химических элементов в талой воде снегового покрова. *Экология и промышленность России*. 2021; 25(8): 47–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-47-53> <https://elibrary.ru/tkwkxf>
18. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Деметьева Н.В., Новикова Н.В. Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова предприятиями черной металлургии. *Экология и промышленность России*. 2022; 26(8): 59–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-59-65> <https://elibrary.ru/hbnoea>
19. Лисецкая Л.Г., Шаяхметов С.Ф. Оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района в Восточной Сибири. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(12): 1443–49. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449> <https://elibrary.ru/bpwylc>
20. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2021 году». Ижевск: Принт; 2022.
21. Савченко 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> <https://elibrary.ru/yrfluc>
24. Павлова А.З., Богомолов Д.В., Ларёв З.В., Аманмуратов А.Х. Волосы как объект исследования при отравлении солями тяжелых металлов. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2012; 55(6): 25–9. <https://elibrary.ru/pumuwp>

References

1. Efimova N.V., Myl'nikova I.V., Paramonov V.V., Kuz'mina M.V., Grebenshchikova V.I. Assessment of chemical pollution and public health risks in the Irkutsk region. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016; (S6): 99–103. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(99-103\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(99-103)) <https://elibrary.ru/xqrxv> (in Russian)
2. Evdokimova G.A., Mozgova N.P. Assessment of soil and plant pollution in the area of exposure to gas-air emissions from an aluminum plant. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2015; (4): 64–8. <https://elibrary.ru/vlezux> (in Russian)
3. Wang A., Fallah-Shorshani M., Xu J., Hatzopoulou M. Characterizing near-road air pollution using local-scale emission and dispersion models and validation against in-situ measurements. *Atmos. Environ.* 2016; 142: 452–64. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.020>
4. Ariya P.A., Dastoor A., Nazarenko Y., Amyot M. Do snow ice alter urban air quality? *Atmos. Environ.* 2018; 186: 266–8. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.028>
5. Skal'nyy A.V. *Chemical Elements in Human Physiology and Ecology [Khimicheskie elementy v fiziologii i ekologii cheloveka]*. Moscow: Mir; 2004. <https://elibrary.ru/xqphzb> (in Russian)
6. Sazonova T.V., Ryazanova T.K., Sergeev A.K., Sudakova T.V., Toropova N.M., Vistyak L.N. Ecological and hygiene features of anthropogenic snow pollution in the industrial city. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2018; (2): 34–8. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-299-2-34-38> <https://elibrary.ru/ytztfq> (in Russian)
7. Chanchaeva E.A., Grzhibovskiy A.M., Kurilenko T.K., Malkov P.Yu. Cadmium concentrations in hair in the population of the subjects of the Russian Federation: a systematic review. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(1): 40–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-1-40-49> <https://elibrary.ru/ikzflc> (in Russian)
8. Kuz'minova O.V., Proydakova O.A., Yanchuk T.M. The heavy metal pollution assessment in the environmental components of Svirs city (Irkutsk region). *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya*. 2015; (11): 81–92. <https://elibrary.ru/tsxkoz> (in Russian)
9. Bogdanov A.V., Shatrova A.S., Tyukalova O.V. Impact assessment of the industrial site at former battery plant “Vostsibelement” in Irkutsk region on environmental compartment. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2022; 26(3): 52–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-3-52-57> <https://elibrary.ru/hsddyc> (in Russian)
10. Efimova N.V., Lisetskaya L.G., Zhurba O.M., Taranenko N.A., Boeva A.V., D'yakovich O.A., et al. *Regional Reference Levels of Chemicals in Biosubstrates of the Population of the Irkutsk Region. Guidelines [Regional'nye referensnyye urovni sodержaniya khimicheskikh veshchestv v biosubstratakh naseleniya Irkutskoy oblasti. Metodicheskie rekomendatsii]*. Angarsk; 2013. (in Russian)
11. Skal'nyy A.V., Kiselev M.F. *The Elemental Status of Russia. Part 5. Elemental Status of the Population of the Siberian and Far Eastern Federal Districts [Elementnyy status Rossii. Chast' 5. Elementnyy status naseleniya Sibirskogo i Dal'nevostochnogo federal'nogo okrugov]*. St. Petersburg: Medkniga «ELBI»; 2014. (in Russian)
12. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A. *Physico-Chemical Studies and Methods of Control of Substances in Environmental Health [Fiziko-khimicheskie issledovaniya i metody kontrolya veshchestv v gigiene okruzhayushchey sredy]*. St. Petersburg: Professional; 2014. (in Russian)
13. Zhurba O.M., Alekseenko A.N., Shayakhmetov S.F., Merinov A.V. Assessment of the content of pollutants in accumulating natural environments under conditions of anthropogenic load. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(10): 1049–54. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1049-1054> <https://elibrary.ru/atojrh> (in Russian)
14. Onwudiegwu C.A., Eze G.C., Obioh I.B. Trace metals in total atmospheric depositions (TAD) of a Nigerian island. *J. Atmos. Pollut.* 2016; 4(1): 15–22. <https://doi.org/10.12691/jap-4-1-2>
15. Belozertseva I.A., Vorob'eva I.B., Vlasova N.V., Lopatina D.N., Yanchuk M.S. Snow pollution in lake Baikal water area in nearby land areas. *Baykal i prilegayushchey territorii. Vodnye resursy*. 2017; 44(3): 340–53. <https://doi.org/10.1134/S0097807817030046> <https://elibrary.ru/xndfuj> (in Russian)
16. Zhurba O.M., Efimova N.V., Khankhareev S.S., Alekseenko A.N., Merinov A.V., Madeeva E.V., et al. Assess of contamination of the snow cover for detecting the zones of inhalation chemical risk. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(4): 363–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-4-363-367> <https://elibrary.ru/jqlnch> (in Russian)
17. Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Leskova O.A., Mikhaylova L.A., Samoylenko G.Yu. Monitoring the level of the air contamination by chemical elements impoundment in the snow melt of the snow blanket. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2021; 25(8): 47–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-47-53> <https://elibrary.ru/tkwkxf> (in Russian)
18. Kurbaakov D.N., Kuznetsov V.K., Sidorova E.V., Sarukhanov A.V., Dement'eva N.V., Novikova N.V. Comparative assessment of heavy metal pollution of snowpack by iron and steel foundries. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2022; 26(8): 59–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-59-65> <https://elibrary.ru/hbnoea> (in Russian)
19. Lisetskaya L.G., Shayakhmetov S.F. Assessment of the level of pollution of the snow cover with chemical compounds and elements in the territory of the Shelekhov district in eastern Siberia. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(12): 1443–49. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449> <https://elibrary.ru/bpwylc> (in Russian)
20. *State report «On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2021»*. Izhevsk: Print; 2022. (in Russian)
21. Savchenko 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> <https://elibrary.ru/yrfluc> (in Russian)
22. Jalili C., Kazemi M., Taheri E., Mohammad 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>
23. 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>
24. Pavlova A.Z., Bogomolov D.V., Larev Z.V., Amanmuradov A.Kh. Hair as a study object in case of poisoning with heavy metal salts. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2012; 55(6): 25–9. <https://elibrary.ru/pumuwp> (in Russian)