

## Аккумуляция тяжёлых металлов в компонентах природной среды на территории накопленной техногенной нагрузки

© 2026. С. Ф. Шаяхметов, д. м. н., в. н. с.,  
 А. В. Меринов, к. б. н., н. с.,  
 О. М. Журба, д. б. н., зав. лабораторией,  
 А. Н. Алексеенко, к. х. н., с. н. с.,  
 Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований,  
 665827, Россия, г. Ангарск, 12а микрорайон, д. 3, а/я 1170,  
 e-mail: salimf53@mail.ru

Проведён сравнительный анализ содержания мобильных форм тяжёлых металлов (ТМ) в снежном покрове, почвах и в волосах детского населения на территории г. Свирска. Выявлены особенности распределения и аккумуляции ТМ в природных средах и волосах у детей в разных функциональных зонах города, обусловленные значительным техногенным воздействием выбросов промпредприятий, ТЭЦ, частных домохозяйств и накопленных опасных отходов бывших производств. Обнаружено, что наибольшие уровни накопления элементов по сравнению с фоновыми значениями отмечаются в почвах для As, Zn, Cr и Pb (в 10,5–145,0 раз), значительно ниже – в снежном покрове для Cd, Mn, Zn и Pb (2,0–4,6 раз). Показатель суммарного загрязнения ( $Z_c$ ) снежного покрова ТМ в районах города соответствует низкому уровню, а почв – от умеренно-опасного в центре многоэтажной жилой застройки города до опасного и чрезвычайно опасного уровня загрязнения в промышленной и малоэтажной жилой зонах. Выявлены высокие уровни накопления Mn, Cr, Zn, Cd, Pb и As в волосах детей, превышающие референсные значения в 1,4–24,0 раз. Установлены тесные корреляционные связи ( $r = 0,78–0,83$ ) между содержанием ТМ в снежном покрове возле школ и в волосах у детей в разных зонах города, что свидетельствует об экологической напряжённости в городе и высоком риске здоровью населения.

**Ключевые слова:** тяжёлые металлы, снег, почва, волосы детей, территория города.

## Heavy metal accumulation in the natural environment components in the territory of accumulated technogenic load

© 2026. S. F. Shayakhmetov ORCID: 0000-0001-8740-3133\*  
 A. V. Merinov ORCID: 0000-0001-7848-6432\*  
 O. M. Zhurba ORCID: 0000-0002-9961-6408\*  
 A. N. Alekseenko ORCID: 0000-0003-4980-5304\*

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research,  
 Bldg. 3, Microraion 12a, P.O.Box 1170, Angarsk, Russia, 665827,  
 e-mail: salimf53@mail.ru

A comparative analysis of the mobile forms of heavy metals (HM) content in the Svirsk snow cover, soils and children's hair was carried out. Features of the HM distribution and accumulation in natural environments and children's hair in different functional sites of the city were identified, due to the significant technogenic impact of emissions from industrial enterprises, thermal power plants, private households and accumulated hazardous waste from former industries. It was found that the highest levels of HM accumulation compared to background values are observed in soils for As, Zn, Cr and Pb (10.5–145.0 times), significantly lower in snow cover for Cd, Mn, Zn and Pb (2.0–4.6 times). In the city districts the HM total pollution indicator ( $Z_c$ ) in snow cover corresponds to a low level, and in soils – from moderately dangerous in the center of multi-storey residential buildings of the city to dangerous and extremely dangerous levels of pollution in industrial and low-rise residential sites. High levels of Mn, Cr, Zn, Cd, Pb and As accumulation in children's hair were revealed, exceeding reference values by 1.4–24.0 times. Close correlations ( $r = 0.78–0.83$ ) have been established between the HM content in the snow cover near schools and in the children's hair in different city sites. The above indicates environmental tension in the city and a high risk to public health.

**Keywords:** heavy metals, snow, soil, children's hair, city territory.

Загрязнение окружающей среды (ОС) является одной из острейших экологических проблем для всех государств. Рост вредных выбросов промышленного производства в атмосферу ведёт к увеличению содержания технологических поллютантов вокруг предприятий и на урбанизированной территории. Вследствие длительного накопления атмосферных выпадений поллютантов, деградации, усадка и прекращения деятельности устаревших вредных производств, их заброшенного состояния на территории крупных и малых городов обнаруживаются объекты накопленного экологического вреда в виде многокомпонентных загрязняющих веществ [1, 2]. Одним из наиболее распространённых поллютантов – загрязнителей являются соединения тяжёлых металлов (ТМ), которые оказывают негативное влияние на урбоэкосреду и здоровье населения. В связи с этим при оценке экологических последствий воздействия ТМ уделяют внимание определению содержания элементов в компонентах природной среды (снег, вода, почва и др.) и биосубстратах организма человека [3–6].

Снежный и почвенный покров являются одними из удобных и надёжных объектов для изучения распределения и накопления ТМ в ОС. Геохимическими исследованиями установлены количественные связи между содержанием ТМ в атмосферном воздухе и выпадением их на территории городов, что регистрируется в виде аномалий загрязнений в снеговом и почвенном покрове [1, 7]. Изучение химического состава снегового покрова позволяет выявить интенсивность воздействия, ореолы распространения и реальную степень загрязнения территории ТМ в течение периода залегания снега. В почве происходит накопление ТМ за многолетний период. Из почв ТМ мигрируют в сопредельные среды – открытые и подземные водоёмы, а также в растения. Доказано, что водорастворимые и подвижные формы ТМ биологически активны, оказывают негативное воздействие на функционирование системы «почва – микробиота – растения» [8] и организм человека при поступлении со вдыхаемым воздухом, питьевой водой, продуктами питания [2, 5]. Самым доступным информативным биосубстратом содержания ТМ в организме являются волосы, которые отражают процессы длительного поступления и накопления элементов в организме [9, 10]. Отмечены преимущества использования элементного анализа волос в гигиенической диагностике и раннем выявлении патологических изменений в организме [5, 6, 9, 11].

В настоящее время в научной литературе накоплено достаточно данных о содержании ТМ в снеговом покрове и почвах городов с разным профилем промышленного производства и уровнем техногенного воздействия на урбосреду [2–4, 12–15]. При этом результаты исследования освещаются в большей мере фрагментарно, а изучению особенностей химического состава и накопления ТМ одновременно в объектах природной среды и в биосубстратах человека на территориях экологического неблагополучия уделяется недостаточно внимания. Комплексная оценка содержания ТМ в волосах человека и в разных компонентах урбоэкосреды позволит определить реальный риск здоровью населения и разработать меры по улучшению экологической обстановки на территории высокой техногенной нагрузки.

Цель данной работы – выявить особенности распределения и аккумуляции тяжёлых металлов в снежном покрове, почвах и в волосах человека в разных функциональных зонах промышленно-урбанизированной территории накопленного экологического вреда в г. Свирске Иркутской области.

### **Объекты и методы исследования**

Исследования были проведены в г. Свирске Иркутской области, относящемся к малым промышленным городам (население 12600 чел., общая площадь 38,2 км<sup>2</sup>). На территории города расположены промплощадки бывших предприятий: Ангарский металлургический завод (АМЗ) по производству мышьяка (1934–1949 гг.) и завод свинцовых аккумуляторов «Востсибэлемент» (1939–2000 гг.). В 2011–2014 гг. с промплощадки АМЗ были вывезены опасные отходы и грунты, проведена рекультивация земель [16]. Кроме того, в городе находятся заводы: Автоспецдеталь, мотостроительный, рудоремонтный, ремонтно-механический, аккумуляторный, деревообрабатывающий, а также ТЭЦ и котельные. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе характеризуется как очень высокий: среднегодовые концентрации взвешенных веществ превышают ПДК в 2,2 раза, а максимальные разовые – в 12 раз [17].

Объектами исследования были пробы снега, почв и волосы детей (7–13 лет) в различных зонах города. Отбор проб снега и почв проводили в соответствии с РД 52.04.186-89 и ГОСТ 17.4.3.01-2012 на 11 участках: промышленная зона – деревообрабатывающий завод (1), бывшие АМЗ (2) и завод «Востсибэлемент» (3),

район ТЭЦ и аккумуляторного завода «Актех-Байкал» (4); селитебная зона – школы № 1 (5) и № 3 (6) в многоэтажном жилом секторе в центре города, школа в микрорайоне Макарьево (7), район садоводства «Виктория» (8) и ул. Комсомольской (9) в малоэтажном секторе по периферии города; рекреационная зона – прибрежный лесной массив (10); условно фоновая зона – открытая местность района с. Чемодариха (11).

В пробах снега (фильтраатах талой воды) определяли приоритетные водорастворимые, а в почвах – подвижные формы элементов: Pb, As, Zn, Cd, Mn, Cr, Cu, Fe. Состояние городских почв оценивали согласно СанПин 1.2.3685-21. Интенсивность накопления химических элементов в исследуемых объектах определяли с помощью коэффициента концентрации (накопления)  $K_c$  (формула 1), оценку степени загрязнения снежного покрова и почв производили по показателю суммарного загрязнения  $Z_c$  (формула 2) согласно [7]:

$$K_{Ci} = \frac{C_i}{C_{\phi}} \quad (1)$$

где  $C_i$  и  $C_{\phi}$  – фактическое и фоновое содержание элементов в снеге (мкг/л) и почве (мг/кг).

$$Z_c = \sum K_{Ci} - (n - 1) \quad (2)$$

где  $n$  – количество учитываемых химических элементов.

Также были проведены исследования содержания элементов в волосах детей, обучающихся в школе № 3 в центральной части города (25 чел.) и в школе мкр. Макарьево на территории малоэтажного жилого сектора (27 чел.). Отбор проб волос детей проводили с затылочной части головы сотрудниками лаборатории эколого-гигиенических исследований с соблюдением этических принципов, изложенных в Хельсинской декларации (с поправками 2008 г.). Полученные результаты сопоставлены с региональными референсными уровнями содержания элементов в волосах детского населения Иркутской области [18, 19]. Для элементного анализа образцов снега, почвы и волос использовали атомно-абсорбционную систему с пламенной и электротермической атомизацией Agilent 240FS/240/Ultr AA (Agilent Technologies, USA).

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью MS Excel и программного обеспечения Jamovi (version 2.3). Для сравнения показателей использовали непараметрические критерии Манна-Уитни, коэффициент корреляции Спирмена.

### Результаты и обсуждение

Анализ химического состава ТМ в снежном покрове и почвах г. Свирска показал, что

Таблица 1 / Table 1  
Содержание тяжёлых металлов в снежном покрове (мкг/л) и почвах (мг/кг) г. Свирска  
Heavy metals content in snow cover (µg/L) and soils (mg/kg) in Svirsk

Показатель / Index	Pb	As	Zn	Cd	Mn	Cr	Cu	Fe
Минимум Minimum	<u>40,0</u> 2,9	<u>0,03</u> 0,06	<u>25,0</u> 1,0	<u>3,0</u> 0,04	<u>24,0</u> 71,4	<u>9,0</u> 0,26	<u>3,0</u> 0,82	<u>25,5</u> 5,1
Максимум Maximum	<u>115,0</u> 366,7	<u>0,66</u> 8,7	<u>260,0</u> 36,0	<u>11,0</u> 0,28	<u>272,5</u> 149,7	<u>28,0</u> 4,8	<u>41,5</u> 3,1	<u>413,5</u> 67,9
Среднее Average	<u>52,9</u> 83,0	<u>0,23</u> 2,9	<u>69,5</u> 11,8	<u>4,6</u> 0,12	<u>86,8</u> 108,7	<u>19,8</u> 1,9	<u>12,0</u> 1,6	<u>152,5</u> 14,6
Стандартное отклонение Standard deviation	<u>22,3</u> 136,6	<u>0,21</u> 3,5	<u>69,0</u> 11,7	<u>2,4</u> 0,07	<u>75,8</u> 30,7	<u>6,7</u> 1,4	<u>10,9</u> 0,7	<u>121,3</u> 18,9
Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %	<u>42,2</u> 164,5	<u>91,3</u> 120,6	<u>99,3</u> 99,1	<u>52,2</u> 58,3	<u>87,3</u> 28,2	<u>33,8</u> 73,7	<u>90,8</u> 49,8	<u>79,5</u> 129,4
Фоновый уровень Background level	<u>26,0</u> 7,9	<u>0,16</u> 0,02	<u>30,0</u> 0,2	<u>1,0</u> 0,04	<u>29,0</u> 65,5	<u>16,0</u> 0,12	<u>6,5</u> 1,3	<u>192,5</u> 3,5
ПДК для почв MPC for soils	6	–	23	–	100	6	3	–
$K_{c\text{ ср}}$ $K_{c\text{ average}}$	<u>2,0</u> 10,5	<u>1,4</u> 145,0	<u>2,3</u> 59,0	<u>4,6</u> 3,0	<u>3,0</u> 1,7	<u>1,2</u> 15,8	<u>1,8</u> 1,2	<u>0,8</u> 4,2

Примечание: над чертой – содержание ТМ в снеговом покрове, под чертой – в почвах; «–» – данные отсутствуют;  $K_{c\text{ ср}}$  – среднее значение коэффициента концентрации (накопления).  
Note: the heavy metals content in the snow cover is given above the line, in the soils – below the line; “–” – no data available;  $K_{c\text{ average}}$  – average value of the concentration (accumulation) coefficient.

Таблица 2 / Table 2

Показатели коэффициента накопления ( $K_c$ ) и суммарного загрязнения ( $Z_c$ ) тяжёлыми металлами снегового покрова и почв исследуемых участков г. Свирска / Indicators of the accumulation coefficient  $K_c$  and total pollution  $Z_c$  of heavy metals in the snow cover and soils in the Svirsk studied areas

Зона Zone	Участок Site	$K_c$								$Z_c$
		Pb	As	Zn	Cd	Mn	Cr	Cu	Fe	
Промышленная Industrial	1	<u>1,9</u>	<u>1,8</u>	<u>1,2</u>	<u>4,5</u>	<u>0,9</u>	<u>1,1</u>	<u>2,0</u>	<u>0,4</u>	<u>6,8</u>
		2,3	55,0	51,0	3,0	2,3	14,2	0,8	2,9	124,3
	2	<u>1,7</u>	<u>0,9</u>	<u>1,2</u>	<u>3,0</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>	<u>1,4</u>	<u>0,3</u>	<u>3,1</u>
		3,4	410,0	29,0	3,5	1,2	11,7	1,6	2,6	456,0
3	<u>1,8</u>	<u>1,2</u>	<u>1,2</u>	<u>3,5</u>	<u>9,4</u>	<u>1,4</u>	<u>6,4</u>	<u>0,5</u>	<u>18,4</u>	
	39,8	65,0	180,0	7,0	1,2	13,3	1,3	19,4	320,	
4	<u>4,4</u>	<u>4,1</u>	<u>1,5</u>	<u>3,0</u>	<u>2,5</u>	<u>0,6</u>	<u>0,8</u>	<u>2,2</u>	<u>12,1</u>	
	46,4	435,0	45,0	3,5	2,1	7,8	1,1	2,7	536,6	
Многоэтажная Multi-storey	5	<u>1,7</u>	<u>0,3</u>	<u>2,2</u>	<u>5,0</u>	<u>5,2</u>	<u>1,7</u>	<u>1,4</u>	<u>1,2</u>	<u>11,7</u>
		0,4	3,0	5,0	1,0	1,7	20,8	2,4	3,2	30,5
6	<u>1,6</u>	<u>0,2</u>	<u>2,5</u>	<u>5,0</u>	<u>3,0</u>	<u>1,6</u>	<u>2,2</u>	<u>0,9</u>	<u>10,0</u>	
	1,3	4,0	12,0	2,5	1,1	40,0	0,6	1,6	56,1	
Малоэтажная Low-storey	7	<u>2,2</u>	<u>1,1</u>	<u>2,3</u>	<u>3,0</u>	<u>1,5</u>	<u>0,8</u>	<u>0,5</u>	<u>0,6</u>	<u>5,0</u>
		4,8	320,0	61,0	3,0	2,0	2,2	1,3	1,7	389,0
	8	<u>1,8</u>	<u>3,3</u>	<u>8,6</u>	<u>11,0</u>	<u>2,8</u>	<u>1,5</u>	<u>1,3</u>	<u>1,4</u>	<u>24,7</u>
3,0		70,0	39,0	1,5	1,4	4,0	1,0	2,0	115,0	
9	<u>1,5</u>	<u>0,4</u>	<u>0,8</u>	<u>4,0</u>	<u>1,0</u>	<u>1,7</u>	<u>1,0</u>	<u>0,1</u>	<u>3,5</u>	
	1,6	9,5	152,0	3,0	2,3	26,7	0,9	4,0	193,0	
Рекреационная Recreational	10	<u>1,8</u>	<u>0,8</u>	<u>1,7</u>	<u>3,5</u>	<u>2,8</u>	<u>1,2</u>	<u>1,5</u>	<u>0,3</u>	<u>6,6</u>
		2,3	85,0	18,0	1,5	1,4	15,0	1,1	1,5	118,8

Примечание: показатели коэффициента накопления и суммарного загрязнения тяжёлыми металлами снега – над чертой, почв – под чертой.

Note: indicators of the coefficient of accumulation and total contamination with heavy metals for snow cover are given above the line, for soil – below the line.

уровни содержания элементов в отобранных пробах варьируют в широком диапазоне величин и имеют неоднородный характер пространственного распределения на территории города (табл. 1).

Большой диапазон колебаний концентраций ТМ во всех отобранных пробах снега зафиксирован для As (22 раза), Fe (16,2 раз), Cu (14 раз), Mn (11,3 раз), Zn (10,4 раз), в пробах почв – для Pb (126 раз), As (45 раз), Zn (36 раз), Cr (18 раз) и Fe (3 раз). Для данных элементов были также характерны высокие значения коэффициента вариации, что в целом указывает на наличие участков локального загрязнения в городе.

Сравнение средних концентраций ТМ в изученных пробах с фоновым содержанием

показывает активное накопление всех элементов в снежном и почвенном покрове. В наибольшей степени это проявляется в почвах для As, Zn, Cr и Pb, несколько ниже – в снежном покрове для Cd, Mn, Zn и Pb. Соотношение максимального содержания ТМ в почвах с установленными для них ПДК выявило превышение уровня Pb в 61,1 раза, Zn – в 1,6 раза и Mn – в 1,4 раза, что свидетельствует об опасном химическом загрязнении почв на исследуемой территории.

Результаты определения ТМ в пробах снега и почв, отобранных в разных функциональных зонах города, демонстрируют существенные различия показателей коэффициента накопления ТМ и суммарного загрязнения на участках наблюдения (табл. 2).

Наибольшие значения ( $> 3$  единиц) накопления Cd в снежном покрове наблюдаются на всех участках промышленной, селитебной и рекреационной зон; Mn – на территории бывшего завода «Востсибэлемент» (3) и в центре города возле школ № 1 (5) и № 3 (6); As и Pb – вблизи ТЭЦ и аккумуляторного завода (4); Zn и As – в зоне малоэтажной застройки возле садоводства «Виктория» (8); Cu – в промзоне завода «Востсибэлемент» (3). На остальных участках города показатель  $K_c$  в основном колеблется от 0,1 до 2,8. В целом накопление водорастворимых ТМ в снежном покрове города возрастает в ряду Cr → As → Cu → Pb → Zn → Mn → Cd.

В почвах максимальные значения накопления As и Zn отмечаются на всех участках промзон, Pb – в зоне бывшего завода «Востсибэлемент» (3), в районе ТЭЦ и аккумуляторного завода (4); меньшие – по Cd и Cr отмечаются в почвах всех промзон. В селитебных зонах наибольшее накопление As и Pb проявляется в районе школы мкр. Макарьево (7) и садоводства «Виктория» (8), Cr и Zn – повсеместно, включая рекреационную зону (10). Аккумуляция подвижных форм ТМ в почвах города возрастает в следующем ряду: Cu → Mn → Cd → Fe → Pb → Cr → Zn → As.

Высокие значения показателя накопления ТМ, вероятно, связаны с выбросами промышленных предприятий и интенсивным повсеместным выпадением токсичных элементов при сжигании угля на ТЭЦ, в котельных и печах домов малоэтажного сектора в холодный период года. Частая сменяемость господствующих ветров также способствует переносу поллютантов в разные части города, формируя мозаичную картину загрязнения снежного и почвенного покрова.

Расчёт показателя суммарного загрязнения  $Z_c$  снежного покрова и почв свидетельствует, что степень загрязнения снега водорастворимыми ТМ в районах города соответствует низкому уровню загрязнения ( $Z_c < 32$ ), с наибольшими значениями возле садоводства «Виктория» (18,4) и на территории бывшего завода «Востсибэлемент» (24,7). Установленные показатели согласуются с данными исследований других авторов [4, 20]. В этих исследованиях отмечено, что более 60 % техногенных выпадений ТМ в снеге содержится в форме труднорастворимых соединений, которые являются менее опасными для живых организмов.

Почвы промышленных зон и малоэтажной жилой застройки характеризуются опасным (участки №№ 1, 8) и чрезвычайно опасным

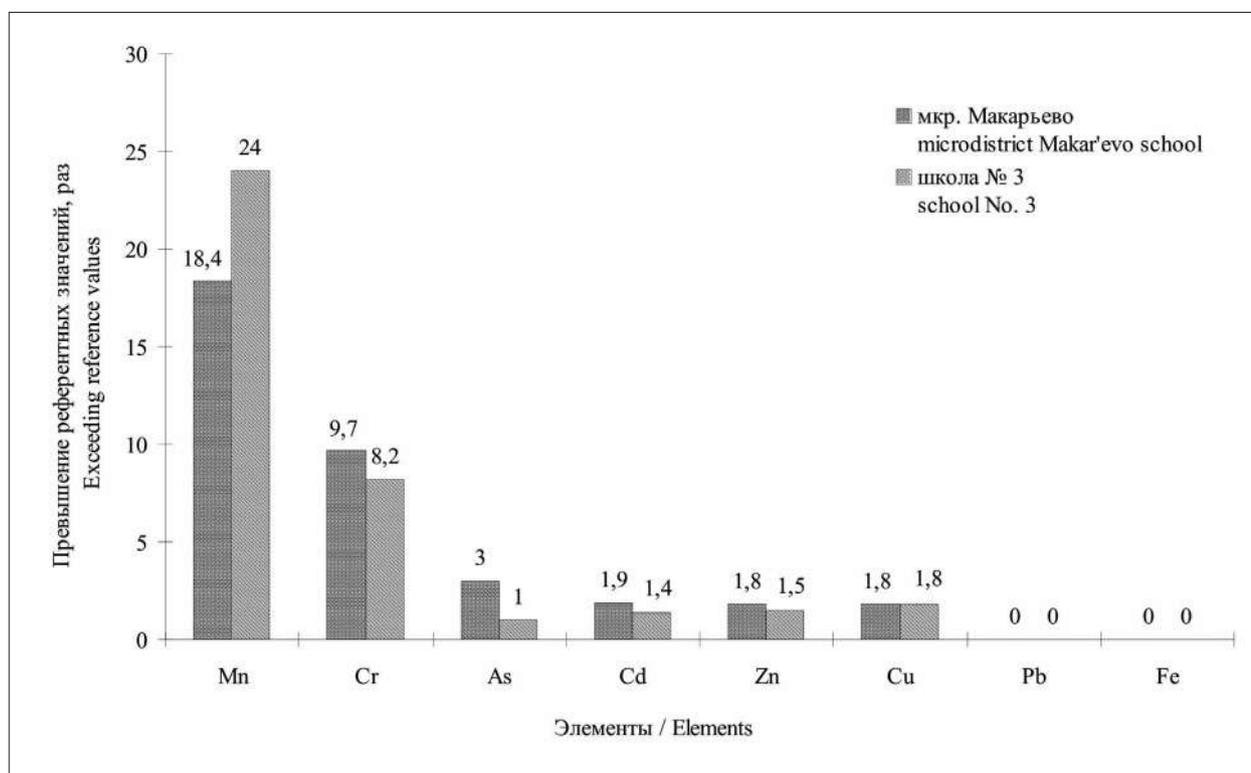
(участки №№ 2–4, 7, 9) уровнем загрязнения ТМ. Состояние почв на территории расположения многоэтажного жилого сектора соответствует опасному (участок № 6) и умеренно-опасному (участок № 5) уровню загрязнения, рекреационной зоны – опасной степени загрязнения (участок № 10). Основными факторами, влияющими на формирование геохимических аномалий и степень загрязнения почв ТМ, являются многолетнее концентрирование атмосферных выпадений поллютантов и наличие накопленных вредных отходов бывших заводов по производству мышьяка и аккумуляторов. Степень загрязнения почв г. Свирска ( $Z_c = 30,5–456,0$ ) значительно превышает показатели для ряда зон других городских агломераций: в Красноярске  $Z_c$  составляет 6,1–36,0 [2]; Владими́ре – 4,0–32,0 [3]; Кирове – 3,1–28,0 [15]; Первоуральске – 60,0; Кировограде – 190,0; Владикавказе – 271,0 [4].

Завершающим этапом исследования являлось определение содержания ТМ в волосах учащихся детей двух школ, расположенных в разных зонах города. При анализе элементного статуса человека исследователи сопоставляют полученные результаты с экологическими особенностями изучаемого региона [9–11]. В этом случае организм человека рассматривается в качестве замыкающего звена урбоэкосистемы.

Результаты проведённых нами исследований показывают, что у детей г. Свирска наблюдается повышенное содержание Zn, Cu, Cd, As, Cr и Mn в волосах, превышающее региональные референсные уровни в среднем в 1,4–24,0 раза (рис.). При этом самые высокие отклонения от референсных уровней фиксируются для Cr и Mn, кратность превышения которых в обследованных группах детей обеих школ достигает в среднем 8,2–9,7 и 18,4–24,0 раза соответственно. Для таких элементов, как Pb и Fe, градиенты превышения отмечаются только по их максимальным значениям (в 2,1 и 3,0 раза).

В группе у учащихся школы мкр. Макарьево, расположенной в малоэтажном жилом секторе, градиенты накопления As, Zn, Cd и Cr в волосах выше, а Mn – ниже, чем у учащихся школы № 3, находящейся в центре города с многоэтажной застройкой. Аккумуляция элементов в волосах у детей школы мкр. Макарьево возрастает в следующем порядке  $Cu_{1,8} = Zn_{1,8} \rightarrow Cd_{1,9} \rightarrow As_{3,0} \rightarrow Cr_{9,7} \rightarrow Mn_{18,4}$ , а у детей школы № 3 –  $As_{1,0} \rightarrow Cd_{1,4} \rightarrow Zn_{1,5} \rightarrow Cu_{1,8} \rightarrow Cr_{8,2} \rightarrow Mn_{24,0}$ .

Обнаружены статистически значимые связи ( $r = 0,78–0,83$ ,  $p < 0,05$ ) между концен-



**Рис.** Градиент накопления тяжёлых металлов в волосах детей на территории г. Свирска  
**Fig.** Gradient of heavy metal accumulation in the Svirsk children's hair

трациями ТМ в волосах учащихся обеих школ и их содержанием в снеговом покрове, что указывает на вклад техногенного загрязнения атмосферного воздуха в накопление ТМ в организме человека. В то же время выявленные взаимосвязи между содержанием ТМ в почве и волосах детей не имеют статистической значимости ( $p > 0,05$ ), поскольку их поступление из почвы в организм обусловлено, в основном, алиментарными факторами [9]. В работе [16] показано, что высокое содержание ТМ в местных почвах г. Свирска может приводить к увеличению содержания их в выращиваемой здесь продукции растениеводства. Дальнейшее изучение содержания ТМ в почвах – растительных культурах – биосубстратах человека позволит определить уровень накопления элементов-токсикантов в организме и оценить опасность загрязнения компонентов ОС на изучаемой территории для здоровья населения. Таким образом, итоги исследования подтверждают экстремальность экологической ситуации в городе и необходимость реализации комплекса профилактических мер по её улучшению.

### Заключение

Впервые проведено комплексное исследование содержания ТМ в снежном покрове,

почвах и волосах детей на урбанизированной территории накопленного экологического вреда в г. Свирске. Установлены высокие показатели аккумуляции ТМ и неоднородный характер их пространственного распределения в разных зонах города, обусловленные воздействием выбросов промпредприятий, ТЭЦ, печей частных домохозяйств и опасных отходов бывших производств мышьяка и аккумуляторов. В наибольшей степени накопление элементов в снеге проявляется для Cd, Mn, Zn и Pb, в почвах – для As, Zn, Cr и Pb. Показатель суммарного загрязнения снежного покрова в городе соответствует малоопасному уровню загрязнения, почв – от умеренно-опасного в центре многоэтажной жилой зоны города до опасного и чрезвычайно опасного уровня загрязнения в промышленных зонах и малоэтажном жилом секторе. Выявлены высокие уровни накопления Mn, Cr, As, Cd, Zn и Pb в волосах детей и тесные корреляционные связи между содержанием ТМ в снежном покрове и волосах детей. Полученные данные свидетельствуют об экологической напряжённости в городе, высоком риске здоровью населения и необходимости реализации профилактических мероприятий на территории накопленного экологического вреда.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственной темы № 224020100490-2.*

### Литература

1. Касимов Н.С., Власов Д.В. Тяжёлые металлы и металлоиды в почвах Российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 3. С. 14–22.

2. Мучкина Е.Я., Бадмаева С.Э., Коротченко И.С., Горлушкина К.С. Анализ распределения подвижных форм тяжёлых металлов в почвенном покрове промышленно-урбанизированной территории г. Красноярска // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 4. С. 66–71. doi: 10.18412/1816-0395-2020-4-66-71

3. Трифонова Т.А., Курочкин И.Н., Курбатов Ю.Н. Тяжёлые металлы в почвах различных функциональных зон урбанизированных территорий: оценка содержания и экологического риска // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 38–46. doi: 10.25750/1995-4301-2023-2-038-046

4. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В., Новикова Н.В. Сравнительная оценка загрязнения тяжёлыми металлами снежного покрова предприятиями чёрной металлургии // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 8. С. 59–65. doi: 10.18412/1816-0395-2022-8-59-65

5. Савченков О.В. Влияние загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами на здоровье детей дошкольного возраста // Экология человека. 2018. № 3. С. 16–20. doi: 10.33396/1728-0869-2018-3-16-20

6. Yu G., Chen F., Zhang H., Wang Z. Pollution and health risk assessment of heavy metals in soils Guizhou, China // Ecosyst. Health Sustain. 2021. V. 7. No. 1. Article No. 185948. doi: 10.1080/20964129.2020.1859948

7. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 1990. 17 с.

8. Иванцова Е.А., Холоденко А.В., Тихонова А.А., Герман Н.В., Постнова М.В., Водолазко А.Н. Влияние присутствия подвижных форм Zn, Cu, Ni на функционирование системы «почва–микробиота–растение» в зерновых агроценозах // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 11. С. 56–59. doi: 10.18412/1816-0395-2018-11-56-59

9. Чанчаева Е.А., Гржибовский А.М., Куриленко Т.К., Малков П.Ю. Концентрация кадмия в волосах населения субъектов Российской Федерации: систематический обзор // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 1. С. 40–49. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-1-40-49

10. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»; Мир, 2004. 216 с.

11. Баранова О.В., Брудастов Ю.А., Детков В.Ю., Мироненко А.Н. Оценка содержания микроэлементов

в волосах жителей региона с повышенной антропогенной нагрузкой // Вестник восстановительной медицины. 2013. № 2. С. 64–66.

12. Hulisz P., Charzyński P., Greinert A. Urban soil resources of medium-sized cities in Poland: a comparative case study of Toruń and Zielona Góra // J. Soils Sediments. 2018. V. 18. No. 2. P. 358–372. doi: 10.1007/s11368-016-1596-x

13. Van De Vijver E., Delbecq N., Verdoodt A., Seuntjens P. Estimating the urban soil information gap using exhaustive land cover data: the example of Flanders, Belgium // Geoderma. 2020. V. 372. Article No. 114371. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114371

14. 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. Т. 101. № 12. С. 1443–1449. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449

15. Горностаева Е.А., Березин Г.И., Дабах Е.В. Тяжёлые металлы в снежном покрове и городских почвах // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 110–117. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-110-117

16. Кузьминова О.В., Пройдакова О.А., Янчук Т.М., Оценка степени загрязнения тяжёлыми металлами компонентов природной среды г. Свирска (Иркутская область) // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Биология. Экология. 2015. Т. 11. С. 81–92.

17. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2021 году: государственный доклад. Ижевск: ООО «Принт», 2022. 252 с.

18. Ефимова Н.В., Лисецкая Л.Г., Журба О.М., Тараненко Н.А., Боева А.В., Дьякович О.А., Алексеенко А.Н., Меринов А.В., Кучерявых Е.И., Донских И.В., Ткачук Е.А. Региональные референсные уровни содержания химических веществ в биосубстратах населения Иркутской области: методические рекомендации. Ангарск: Иркутский институт повышения квалификации работников образования, 2013. 28 с.

19. Элементный статус населения Сибирского и Дальневосточного федерального округов // Элементный статус России. Ч. 5 / Под ред. А.В. Скального, М.Ф. Киселёва. СПб.: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2014. 544 с.

20. Салтан Н.В., Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н. Оценка загрязнения снегового покрова урбозкоисотемы Кольского Севера в зоне влияния железнодорожных отводов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 78–83. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-078-083

### References

1. Kasimov N.S., Vlasov D.V. Heavy metals and metalloids in urban soils of Russian cities (according to the annual reports of Rosgidromet) // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya. 2018. No. 3. P. 14–22 (in Russian).

2. Muchkina E.Ya., Badmaeva S.E., Korotchenko I.S., Gorlushkina K.S. Assessment of heavy metals distribution in soil cover of industry-urban area of Krasnoyarsk // *Ecology and Industry of Russia*. 2020. V. 24. No. 4. P. 66–71 (in Russian). doi: 10.18412/1816-0395-2020-4-66-71
3. Trifonova T.A., Kurochkin I.N., Kurbatov Yu.N. Heavy metals in soils of various functional zones of urbanized territories: assessment of the content and environmental risk // *Theoretical and Applied Ecology*. 2023. No. 2. P. 38–46 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-2-038-046
4. Kurbaev D.N., Kuznetsov V.K., Sidorova E.V., Sarukhanov A.V., Dementieva N.V., Novikova N.V. Comparative assessment of heavy metal pollution of snow-pack by iron and steel foundries // *Ecology and Industry of Russia*. 2022. V. 26. No. 8. P. 59–65 (in Russian). doi: 10.18412/1816-0395-2022-8-59-65
5. Savchenko O.V. Environmental heavy metals pollution effect on preschool children's health // *Human Ecology*. 2018. No. 3. P. 16–20 (in Russian). doi: 10.33396/1728-0869-2018-3-16-20
6. Yu G., Chen F., Zhang H., Wang Z. Pollution and health risk assessment of heavy metals in soils Guizhou, China // *Ecosyst. Health Sustain*. 2021. V. 7. No. 1. Article No. 185948. doi: 10.1080/20964129.2020.1859948
7. Methodological recommendations for assessing the degree of atmospheric air pollution in populated areas by metals based on their content in snow cover and soil. Moskva: IMGRE, 1990. 17 p. (in Russian)
8. Ivantsova E.A., Kholodenko A.V., Tikhonova A.A., German N.V., Postnova M.V., Vodolazko A.N. Influence of the presence of mobile forms Zn, Cu, Ni on functioning of the system “soil–microbiota–plant” in grain agrocenoses // *Ecology and Industry of Russia*. 2018. V. 22. No. 11. P. 56–59 (in Russian). doi: 10.18412/1816-0395-2018-11-56-59
9. Chanchaeva E.A., Grjibovski 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 // *Hygiene and Sanitation*. 2023. V. 102. No. 1. P. 40–49 (in Russian). doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-1-40-49
10. Skalniy A.V. Chemical elements in human physiology and ecology. Moskva: Izdatelskiy dom “ONIKS 21 vek”; Mir, 2004. 216 p. (in Russian).
11. Baranova O.V., Brudastov Ju.A., Detkov V.Ju., Mironenko A.N. Evaluation of content of trace elements in the hair of people in the region with increased human pressure // *Bulletin of rehabilitation medicine*. 2013. No. 2. P. 64–66 (in Russian).
12. Hulisz P., Charzyński P., Greinert A. Urban soil resources of medium-sized cities in Poland: a comparative case study of Toruń and Zielona Góra // *J. Soils Sediments*. 2018. V. 18. No. 2. P. 358–372. doi: 10.1007/s11368-016-1596-x
13. Van De Vijver E., Delbecque N., Verdoodt A., Seuntjens P. Estimating the urban soil information gap using exhaustive land cover data: the example of Flanders, Belgium // *Geoderma*. 2020. V. 372. Article No. 114371. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114371
14. 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 // *Hygiene and Sanitation*. 2022. V. 101. No. 12. P. 1443–1449 (in Russian). doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449
15. Gornostaeva E.A., Berezin G.I., Dabakh E.V. Heavy metals in snow cover and urban soils // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 3. P. 110–117 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-110-117
16. Kuz'minova O.V., Proydakova O.A., Yanchuk T.M. The heavy metal pollution assessment in the environmental components of Svirk city (Irkutsk Region) // *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya*. 2015. V. 11. P. 81–92 (in Russian).
17. On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2021: State Report. Izhevsk: OOO “Print”, 2022. 252 p. (in Russian).
18. Efimova N.V., Lisetskaya L.G., Zhurba O.M., Taranenko N.A., Boeva A.V., Dyakovich O.A., Alekseenko A.N., Merinov A.V., Kucheryavykh E.I., Donskikh I.V., Tkachuk E.A. Regional reference levels of chemicals in biosubstrates of the population of the Irkutsk region: Guidelines. Angarsk: Irkutskiy institut povysheniya kvalifikatsii rabotnikov obrazovaniya, 2013. 28 p. (in Russian).
19. Elemental status of the population of the Siberian and Far Eastern Federal Districts // *The elemental status of Russia. Part 5* / Eds. A.V. Skal'nyy, M.F. Kiselev. Sankt-Peterburg: Medkniga “ELBI-SPb”, 2014. 544 p. (in Russian).
20. Saltan N.V., Sviatkovskaya E.A., Trostenyuk N.N. Assessment of snow cover pollution in urban ecosystems of the Kola North in the zone of influence of railway branches // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 1. P. 78–83 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-078-083