

С.Ф. ШАЯХМЕТОВ, В.С. РУКАВИШНИКОВ, О.М. ЖУРБА, А.В. МЕРИНОВ, А.Н. АЛЕКСЕЕНКО

Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований,
665827, Ангарск, м-н 12-а, 3, Россия, salimf53@mail.ru, rvs_2010@mail.ru, zhurba99@gmail.com,
alek-merinov@mail.ru, alexeenko85@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА СВИРСКА

Исследована региональная проблема загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды на территории накопленного экологического вреда мышьяковистого и аккумуляторного заводов в г. Свирск (Иркутская область). Проведен анализ и оценка уровней содержания и распределения мобильных форм элементов-загрязнителей в снежном покрове и почвах в промышленной, селитебной и рекреационной зонах территории города. Для эколого-гигиенической оценки загрязнения снежного и почвенного покрова использованы следующие показатели: коэффициент концентрации и накопления химических элементов, суммарный показатель загрязнения, степень химического загрязнения. Установлено, что в пределах рассматриваемых функциональных зон урбанизированной территории города наблюдаются повышенные уровни накопления мобильных форм тяжелых металлов в компонентах природной среды, обусловленные воздействием выбросов промпредприятий, тепловой электростанции, печей домохозяйств и накопленных вредных отходов бывших предприятий. В наибольшей степени аккумуляция элементов в снеге проявляется для кадмия, марганца, цинка, свинца, в почвах — для мышьяка, цинка, хрома и свинца. Отмечается сравнительно меньший уровень загрязнения почв тяжелыми металлами на территории города после проведения экологической реабилитации накопленных отходов Ангарского металлургического завода. Обнаружены прямые и обратные корреляционные связи между содержанием элементов в снежном покрове и почвах, свидетельствующие о высокой экологической значимости влияния техногенных факторов и повышенной миграционной способности мобильных форм кадмия, цинка и марганца в системе «почвенный покров—сопредельные среды». Категория загрязнения снежного покрова согласно суммарному показателю загрязнений соответствует низкому уровню, а почв — от опасного в многоэтажном жилом секторе и рекреационной зоне до чрезвычайно опасного в промышленной и малоэтажной жилой зонах. Степень загрязнения городских почв возрастает в следующем порядке: многоэтажная жилая зона < прибрежный лесной массив < малоэтажный жилой сектор < промышленная зона.

Ключевые слова: снеговой покров, почвы, накопление химических элементов, функциональные зоны, территории накопленного вреда, атомно-абсорбционная спектроскопия.

S.F. SHAYAKHMETOV, V.S. RUKAVISHNIKOV, O.M. ZHURBA, A.V. MERINOV, A.N. ALEKSEENKO

East Siberian Institute of Medical and Ecological Research,
665827, Angarsk, m-n 12a, 3, Russia, salimf53@mail.ru, rvs_2010@mail.ru, zhurba99@gmail.com,
alek-merinov@mail.ru, alexeenko85@mail.ru

THE CURRENT STATE OF ENVIRONMENTAL POLLUTION WITH HEAVY METALS IN THE CITY OF SVIRSK

The regional problem of pollution of the natural environment components with heavy metals in the territory of accumulated environmental damage of the arsenic and battery plants in Svirs (Irkutsk oblast) has been investigated. The analysis and assessment of the levels of content and distribution of mobile forms of polluting elements in the snow cover and soils in the industrial, residential and recreational zones of the city territory have been carried out. The following indicators were used for the ecological and hygienic assessment of pollution of the snow and soil covers: the coefficient of concentration and accumulation of chemical elements, the total pollution index, and the degree of chemical pollution. It has been established that within the considered functional zones of the urbanized territory of the city there have been observed increased levels of accumulation of mobile forms of heavy metals in the components of the natural environment, caused by the impact of emissions from industrial enterprises, a thermal power plant, household furnaces, and accumulated harmful waste from former enterprises. The accumulation of elements is manifested to the greatest extent for cadmium, manganese, zinc, and lead in snow, and for arsenic, zinc, chromium, and lead in soils. A comparatively lower level of soil pollution with heavy metals is noted in the city territory after the environmental rehabilitation of the accumulated waste of the Angarsk metallurgical plant. Direct and inverse correlations have

been found between the content of elements in the snow cover and soils, indicating a high environmental significance of the impact of technogenic factors and increased migration capacity of mobile forms of cadmium, zinc and manganese in the "soil cover—adjacent environments" system. According to the total pollution index, the category of snow cover pollution corresponds to a low level, while the category of soil pollution ranges from a hazardous level in the multi-story residential sector and recreational area to an extremely hazardous one in industrial and low-rise residential zones. The degree of urban soil pollution increases in the following order: multi-story residential area < coastal forest area < low-rise residential sector < industrial zone.

Keywords: *snow cover, soils, accumulation of chemical elements, functional zones, territories of accumulated damage, atomic absorption spectrometry.*

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) является одной из актуальных экологических проблем современности [1–3]. Под воздействием антропогенных факторов, представляющих собой результат техногенной деятельности промышленности, энергетики, транспорта, происходит загрязнение химическими элементами атмосферного воздуха, снежного покрова, воды и почвы, которые могут оказывать токсическое действие на организм человека и вызывать канцерогенные эффекты [4–6].

В результате многолетней деятельности промышленных предприятий в зонах городских агломераций наблюдается повышенное накопление потенциально токсичных соединений ТМ [7–10]. Наиболее информативной депонирующей средой является снежный и почвенный покров, которые отражают уровень атмотехногенных выпадений поллютантов. Изучение элементного состава данных компонентов позволяет оценить ареолы распространения, уровни накопления и степени загрязнения территории ТМ от различных источников за зимний и многолетний период [11–13].

На территории Восточной Сибири из-за технологической деградации и упадка промышленности многие предприятия перепрофилировались, а некоторые прекратили свою деятельность: производство мышьяка, свинцовых аккумуляторов, хлора методом ртутного электролиза, золота с использованием ртути и др. На промплощадках бывших заводов и урбанизированных территориях промышленных городов произошло формирование вторичных геохимических очагов загрязнения ТМ [14, 15].

К числу территорий накопленного экологического вреда относится зона агломерации г. Свирска Иркутской области, где сконцентрированы большие объемы отходов бывших предприятий — Ангарского металлургического завода (АМЗ) по производству белого мышьяка и аккумуляторного завода ОАО «Востсибэлемент». В 2011–2014 гг. с промплощадки АМЗ были вывезены опасные отходы и зараженный грунт, проведена рекультивация верхнего слоя почв. При этом на территории бывшего завода ОАО «Востсибэлемент» до сих пор находятся развалины аккумуляторных цехов.

Проблема загрязнения территории г. Свирска ТМ была рассмотрена ранее только в некоторой ее части: дана оценка степени загрязнения почвогрунтов на промплощадке бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» [16], определено валовое содержание ТМ в почвах селитебной зоны города [17]. Однако изучению и сравнительному анализу содержания водорастворимых форм ТМ в снежном покрове и подвижных форм в почвах города после реализации мер по ликвидации накопленных отходов АМЗ не уделялось должного внимания. Актуальность исследования содержания мобильных форм ТМ в урбосреде определена тем, что они биологически активны и более опасны, быстро включаются в обменные процессы и вызывают значительные нарушения в окружающей среде и организме человека [7, 8, 18].

Цель данной работы — сравнительная экологическая оценка уровня содержания мобильных форм ТМ в снежном покрове и почвах на урбанизированной территории накопленного экологического вреда в г. Свирске после ликвидации техногенных отходов бывшего АМЗ.

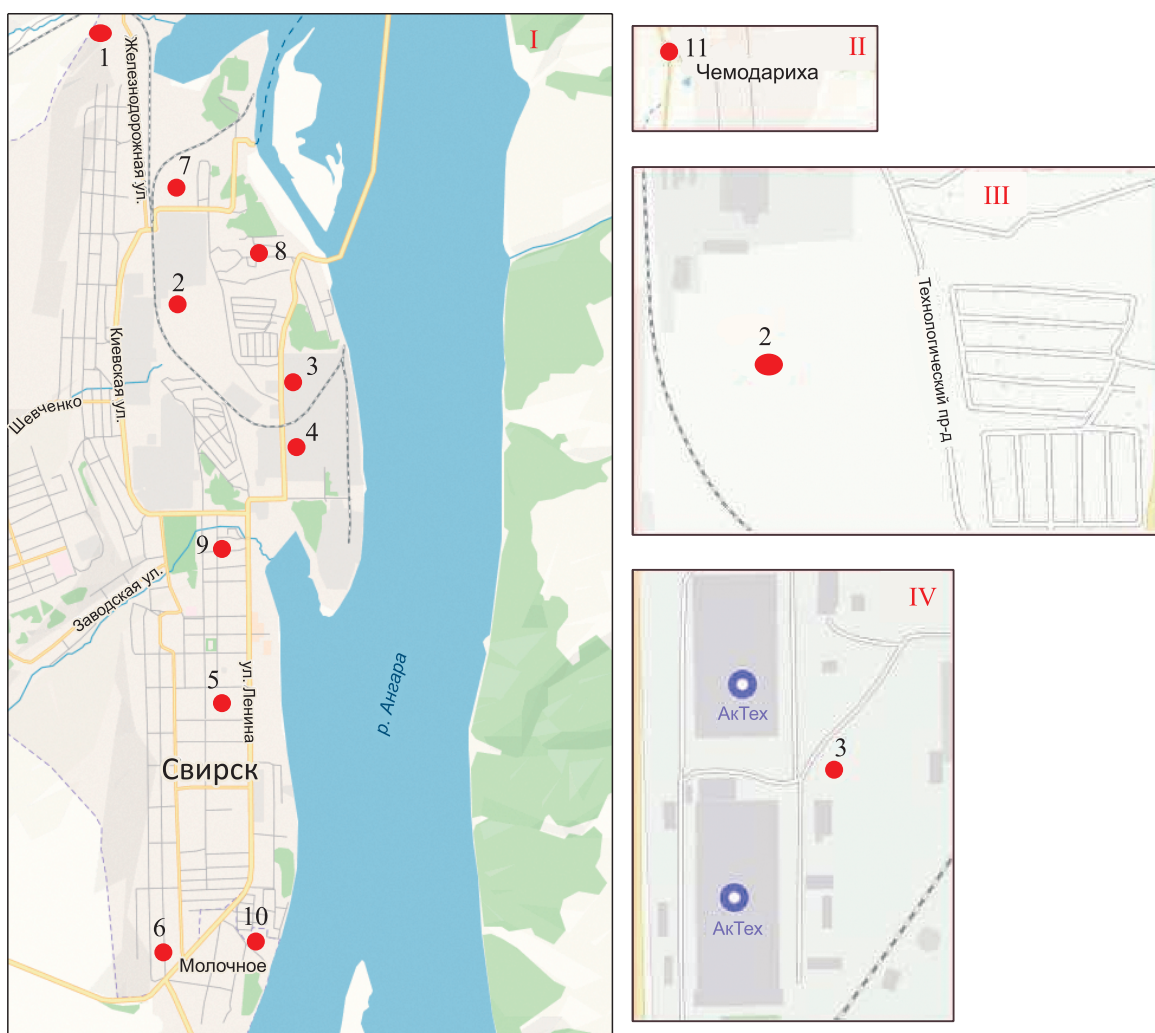
ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования были проведены в г. Свирске — одном из малых городов Иркутской области (общая площадь 38,2 км², население 12 600 чел.). Территория г. Свирска находится в 150 км от областного центра, в середине Иркутско-Черемховской равнины, на левом террасированном склоне долины р. Ангары. Жилая зона представлена многоэтажными зданиями, расположенными в центре города, а также малоэтажными домами частного сектора по периферии. В пределах городской территории размещены действующие предприятия: ООО фирма «Автоспецдеталь», ООО «Сибирский Мостостроительный завод», ООО «Рудоремонтный завод», ООО «Аккумуляторные Технологии» и деревообраба-

тывающее предприятие «ТМ Байкал», а также ТЭЦ и котельные. Территория города находится в зоне резко континентального климата с продолжительной холодной зимой и коротким теплым летом. В зимний период наблюдается штилевая погода со смогом. Преобладающими направлениями ветров являются северо-западное и юго-восточное.

Объектами исследования были пробы снега и почв в различных функциональных зонах города. Их отбор проводили на 11 участках (см. рисунок): промышленная зона — деревообрабатывающий завод (1), бывший Ангарский металлургический завод (АМЗ) (2) и завод «Востсибэлемент» (3), район ТЭЦ и ООО «Аккумуляторные Технологии» (4); селитебная зона — многоэтажный жилой сектор в центре города — школы № 1 (5) и № 3 (6) и малоэтажный сектор по периферии — школа в микрорайоне Макарьёво (7), район садоводства «Виктория» (8) и ул. Комсомольская (9); рекреационная зона — прибрежный лесной массив (10); условно фоновая зона — открытая местность района с. Чемодариха (11).

Отбор снега проводили в середине марта 2021 г. методом конверта с стороной 5 м на всю глубину снега на каждом участке исследования в соответствии с требованиями РД 5204.186–89 и [19]. Пробы почв отбирали в сентябре 2021 г. из верхнего слоя (до 10 см), согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02–2017.



Карта-схема участков отбора проб на территории г. Свирска.

I — территория г. Свирска; II — фоновая зона; III — промплощадка бывшего Ангарского металлургического завода; IV — промплощадка бывшего завода «Востсибэлемент». 1–11 — участки отбора проб (см. текст и табл. 1).

Доставленные в лабораторию пробы снега оттаивали при комнатной температуре, затем талую воду фильтровали через фильтры средней плотности («синяя лента»). Образцы проб почвы высушивали, измельчали в мельнице, протирали в агатовой ступке до однородности и просеивали через капроновое сито. В фильтратах талой воды определяли содержание приоритетных водорастворимых, а в подготовленных образцах проб почв — подвижных форм элементов-загрязнителей: Pb, As, Zn, Cd, Mn, Cr, Cu, Fe.

Для элементного анализа образцов снега и почвы использовали двойную атомно-абсорбционную систему с пламенной и электротермической атомизацией Agilent 240 FS/240 Z/Ultr AA (Agilent Technologies, USA). Анализ мышьяка проводили с помощью гидридной приставки VGA 77AA Agilent. Состояние городских почв оценивали путем сравнения полученных концентраций подвижных форм ТМ с ПДК (согласно СанПиН 1.2.3685–21): для элементов Pb, Zn, Mn, Cr, Cu с установленными значениями ПДК, равными 6, 23, 100, 6, 3 мг/кг соответственно.

Для эколого-гигиенической оценки загрязнения снежного и почвенного покрова ТМ в различных функциональных зонах города проводили расчеты коэффициента концентрации (накопления) химического элемента (K_c) и суммарного показателя загрязнения (Z_c).

Коэффициент концентрации (накопления) химического элемента определяется как отношение концентрации металла на исследуемом участке (C_i) к фоновой концентрации (C_ϕ):

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi}.$$

Суммарный показатель загрязнения снежного покрова и почвы Z_c рассчитывается по формуле

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{c_i} + \dots K_{c_n}) - (n - 1),$$

где K — коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения; n — число учитываемых элементов-загрязнителей.

Степень химического загрязнения определялась в зависимости от значения Z_c для снега: показатель от 32 до 64 соответствует низкому уровню, от 64 до 128 — среднему, от 128 до 256 — высокому, >256 — очень высокому; для почвы: <16 — допустимая, 16–32 — умеренно опасная, 32–128 — опасная, >128 — чрезвычайно опасная (СанПиН 1.2.3685–21) [19]. Статистическая обработка полученных данных проводилась при помощи программ Microsoft Excel и программного обеспечения Jamovi (version 2.3), корреляцию оценивали по коэффициенту Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В зоне воздействия промышленных предприятий ТМ являются постоянным представителем химического загрязнения урбоэкосистем, доля которых составляет от 50 до 95 % [11]. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Свирске характеризуется как очень высокий: среднегодовые концентрации взвешенных веществ, содержащие ТМ, превышают ПДК в 2,5 раза, максимально разовые концентрации достигают 12 ПДК [2].

Анализ химического состава мобильных форм ТМ в снежном покрове и почвах разных функциональных зон г. Свирска показал, что концентрации каждого элемента в отобранных пробах варьируются в широком диапазоне величин и имеют неоднородный характер пространственного распределения на территории города (табл. 1). Большой диапазон колебаний ТМ в общей выборке отобранных проб снега отмечается для As (22 раза), Fe (16,2 раза), Cu (14 раз), Mn (14,3 раза), Zn (10,4 раза), а проб почвы — для Pb (12,6 раза), As (45 раз), Zn (36 раз) и Cr (18 раз).

Самые высокие концентрации водорастворимых форм элементов в пробах талой воды наблюдаются по Zn на участках № 5, 6, 7 и 8; по Mn — на участках № 3 и 5, по Fe — на участках № 4, 5 и 8; по Cr — на участках № 3, 5, 6, 8 и 9. Максимальные содержания Pb фиксируются на участках № 4, вблизи действующего аккумуляторного завода ООО «Аккумуляторные Технологии» и ТЭЦ. Повышенные концентрации Cd отмечаются также на участках № 5, 6 и 8; As — на участках № 3, 4 и 8; Cu — на участке № 3.

В настоящее время нормативы содержания химических элементов для оценки качества талой воды не разработаны. Однако сравнение концентраций водорастворимых форм ТМ с показателями ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого значения (СанПин 1.2.3685–21) выявило различия

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в снежном покрове и почве различных функциональных зон г. Свирска

Зона	Номер участка	Химический элемент							
		Pb	As	Zn	Cd	Mn	Cr	Cu	Fe
Промышленная	1	49,5	0,29	35,0	4,5	26,0	17,5	13,0	83,0
		17,9	1,1	10,2	0,12	149,7	1,7	0,98	10,2
	2	43,0	0,14	35,0	3,0	24,0	12,5	9,0	64,0
		26,9	8,2	5,8	0,14	75,5	1,4	2,1	9,2
	3	47,5	0,19	35,0	3,5	272,0	22,5	41,5	87,5
		314,6	1,3	36,0	0,28	77,2	1,6	1,7	67,9
	4	115,0	0,66	45,0	3,0	71,5	9,0	5,0	413,5
		366,7	8,7	9,0	6,84	136,1	0,94	1,4	9,5
Селитебная	многоэтажная	44,0	0,05	65,0	5,0	150,0	27,5	9,0	238,0
		10,3	0,08	2,4	0,1	71,4	4,8	0,82	5,7
	6	42,0	0,03	75,0	5,0	87,0	25,0	14,5	178,5
		2,9	0,06	1,0	0,1	108,4	2,5	3,1	11,1
	малоэтажная	56,0	0,18	70,0	3,0	44,0	12,5	3,0	149,0
		37,8	6,4	12,2	0,12	132,4	0,26	1,7	6,0
	8	45,5	0,59	260,0	11,07	82,0	24,0	8,5	263,0
		23,6	1,4	7,8	0,06	94,9	0,48	1,3	7,0
	9	40,0	0,07	25,0	4,0	28,0	28,0	6,5	25,5
		13,0	0,19	30,4	0,12	148,3	3,16	1,2	14,0
Рекреационная		10	46,5	0,12	50,0	3,5	82,5	19,5	52,5
			18,0	1,7	3,6	0,06	93,0	1,8	5,1
Фон		11	26,0	0,16	30,0	1,0	29,0	16,0	192,5
			7,8	0,022	0,2	0,04	65,5	0,12	1,3
								1,3	3,5

Примечание. Числитель — содержание ТМ в снежном покрове, мкг/л; знаменатель — в почвах, мг/кг.

только по содержанию Pb (1,3–3,8 раза), Cd (3,0–11,0) и Fe (1,4 раза). В то же время в сравнении с ПДК для объектов рыбохозяйственного значения, к которым предъявляются более жесткие требования, превышения нормативных уровней фиксировались для большинства элементов — Cu (3,0–4,5 раза), Mn (2,4–27,5), Zn (8,5–26,0), Pb (8,3–19,0), Fe (1,2–4,1), Cd (2,1), Cr (1,4 раза).

Наибольшие загрязнения почв подвижными формами Pb зафиксированы на участках № 3 и 4 — вблизи бывшего завода «Востсибэлемент», ТЭЦ и аккумуляторного завода; Mn — на участках № 1, 4, 7 и 9; Zn — на участках № 3 и 9; Fe — на участке № 3. Максимальные концентрации высокотоксичного As отмечались на участках № 2, 4 и 7, Cr — на участках № 5 и 9; Cd — на участках № 1–3, 7 и 9; Cu — на участке № 6. Соотношение максимального содержания ТМ в почвах с установленными для них ПДК выявило превышение уровня Pb в 61,1 раза, Zn — в 1,6, Mn — в 1,4 раза, что свидетельствует об опасном химическом загрязнении почв на исследуемой территории. Однако по сравнению с данными исследований, проведенных ранее другими авторами [17], до реализации мероприятий по удалению накопленных отходов АМЗ, измеренные нами концентрации ТМ в почвах города были значительно ниже.

При сопоставлении данных о содержании водорастворимых форм ТМ в снежном покрове с концентрацией подвижных форм в почвах были установлены значимые положительные корреляционные связи по Pb ($r = 0,71$; $p < 0,03$), As ($r = 0,65$; $p < 0,05$) и Cr ($r = 0,73$; $p < 0,02$), а также тесная отрицательная связь по Cd ($r = -0,69$; $p < 0,03$). Отрицательные корреляционные связи также были определены по Zn ($r = -0,56$) и Mn ($r = -0,49$), однако они не были статистически значимы ($p > 0,05$). Результаты анализа свидетельствуют о продолжающемся активном поступлении элементов-загрязнителей на поверхность снегового покрова и почвы с техногенными выбросами предприятий и повышенной миграционной способности мобильных форм Cd, Zn и Mn в системе «почвенный покров —

Таблица 2

Показатели коэффициента накопления (K_c) и суммарного загрязнения (Z_c) тяжелыми металлами снежного и почвенного покрова разных функциональных зон г. Свирска (средние данные)

Зона	K_c								Z_c
	Pb	As	Zn	Cd	Mn	Cr	Cu	Fe	
ПР	2,5	2,0	1,2	3,5	3,4	1,0	2,7	0,8	10,1
	23,0	241,3	76,3	4,3	1,7	11,8	1,2	6,9	359,1
СМН	1,7	0,25	2,4	5,0	4,1	1,7	1,8	1,1	10,9
	0,85	3,5	8,5	1,8	1,4	30,4	1,5	2,4	43,3
СМА	1,8	1,6	3,9	6,0	1,8	1,3	0,93	2,7	11,1
	3,1	153,1	107,2	2,5	1,9	11,0	1,1	2,6	232,3
РК	1,8	0,8	1,7	3,5	2,8	1,2	1,5	0,3	6,6
	2,3	85,0	18,0	1,5	1,4	15,0	1,1	1,5	118,8

Примечание. Зоны города: ПР – промышленная, СМН – селитебная многоэтажная, СМА – селитебная малоэтажная. Числитель – показатели K_c и Z_c загрязнения снега, знаменатель – загрязнения почв ТМ.

сопредельные среды». Высокое содержание ТМ в почвах г. Свирска определяет их значительное накопление в растениях, особенно в картофеле: содержание Pb превышает ПДК в 4–7 раз, Cd – 50–3500, As – 23–1120 раз [17].

Рассчитанные по данным анализа проб показатели коэффициента накопления (K_c) и суммарного загрязнения (Z_c) ТМ снежного покрова и почв в разных функциональных зонах города представлены в табл. 2.

Максимальные значения накопления (>3 единиц) Cd в снежном покрове наблюдаются на всех исследуемых участках; Mn – в промышленной (участок № 3) и многоэтажной жилой (участок № 8) зонах. Повышенные показатели K_c (>2 единиц) отмечаются также для Pb и Cu, преимущественно в промзоне. В почвах наибольшие значения коэффициента накопления As, Zn и Cr фиксируются повсеместно, включая рекреационную зону. При этом максимальная аккумуляция Pb, Cd, Fe наблюдается в промышленной и малоэтажной жилой зонах. Высокие уровни накопления ТМ могут быть связаны с воздействием выбросов промпредприятий и активным выпадением ТМ при сжигании угля на ТЭЦ, в котельных и в печах домов малоэтажного сектора в холодный период года.

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) снежного покрова водорастворимыми ТМ на рассматриваемой территории варьирует в среднем от 6,6 до 11,1, с наибольшими значениями на территории бывшего завода «Востсибэлемент» (24,7) и возле садоводства «Виктория» (18,4), что соответствует низкому уровню загрязнения снега ($Z_c < 32$). Установленные показатели загрязнения снега согласуются с данными исследований других авторов [11], в соответствии с которыми наибольшая доля (более 60 %) техногенных выпадений ТМ в снежном покрове содержится в форме труднорастворимых соединений, менее опасных для живых организмов.

Наиболее напряженную ситуацию представляет собой загрязнение почв ТМ. Аномально высокий уровень содержания элементов-загрязнителей в почвах наблюдается в промышленной и малоэтажной жилой (включая огороды, дачные участки) зонах города, где фиксируется чрезвычайно опасный уровень суммарного загрязнения ($Z_c > 128$). В почвах многоэтажного жилого сектора в центре города и рекреационной зоны – прибрежном лесном массиве – отмечается опасная степень загрязнения ТМ ($32 < Z_c < 128$). Согласно полученным данным, степень загрязнения городских почв выглядит следующим образом: многоэтажная жилая зона < прибрежный лесной массив < малоэтажный жилой сектор < промышленная зона. Таргетными факторами, влияющими на формирование геохимических аномальных загрязнений почв ТМ, являются многолетнее концентрирование атмосферных выпадений поллютантов и наличие накопленных вредных отходов бывших заводов по производству мышьяка и свинцовых аккумуляторов. В соответствии с методическими указаниями МУ 2.1.7.730–99, установленные уровни загрязнения почв могут приводить к увеличению общей заболеваемости взрослого и детского населения, а также нарушению репродуктивной функции женщин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микрокомпонентный состав снежного покрова и почв промышленно-селитебных зон г. Свирска, несмотря на экологическую реабилитацию промплощадки АМЗ, характеризуется высоким содержанием и накоплением мобильных форм Pb, As, Cd, Mn, Cr, Cu и Fe. На характер загрязнения урбосреды основное влияние оказывают выбросы промпредприятий, ТЭЦ, печей домохозяйств и накопленные опасные отходы бывших производств мышьяка и свинцовых аккумуляторов. Уровень водорастворимых ТМ в снежном покрове города превышает их фоновое содержание в 1,1–6,0 раз, подвижных форм в почвах — в 1,2–241,3 раза. Кратность превышения установленных нормативов в почвах для Pb достигает 61,1 ПДК, Zn — 1,6 ПДК и Mn — 1,4 ПДК, что свидетельствует о продолжающемся опасном химическом загрязнении почв и риске поступления ТМ по пищевым цепям через растения в организм человека.

Выявленные корреляционные связи между содержанием ТМ в снежном покрове и почвах подтверждают высокую экологическую значимость влияния техногенных факторов на загрязнение урбосреды и повышенную миграционную способность мобильных форм Cd, Zn и Mn в почвенном покрове. По суммарному показателю загрязнения снежного покрова ТМ территории города относятся к низкому уровню загрязнения, почв — от опасного в многоэтажном жилом секторе и рекреационной зоне до чрезвычайно опасного уровня в промышленной и малоэтажной жилой зонах. Степень загрязнения почв различных зон города возрастает в следующем ряду: многоэтажная жилая зона < рекреационная зона < малоэтажный жилой сектор < промышленная зона. Необходимы разработка и реализация мер по дальнейшей нейтрализации вторичного загрязнения ТМ и постоянный мониторинг с учетом выявленных элементов — индикаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barsova N., Yakimenko O., Tolpeshta I., Motuzova G. Current state and dynamics of heavy soil pollution in Russian Federation — a review // *Environmental Pollution*. — 2019. — Vol. 249. — P. 200–207.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2021 году». — Ижевск: ООО «Принт», 2022. — 252 с.
3. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистеме. — Саратов: Ракурс, 2017. — 178 с.
4. Скугорова С.Г., Ашимихина Т.Я., Фокина А.И., Лялина Е.И. Химические основы токсического действия тяжелых металлов (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. — 2016. — № 1. — С. 4–13.
5. Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals // *Interdisciplinary Toxicology*. — 2014. — Vol. 7, N 2. — P. 60–72.
6. Ефимова Н.В., Мыльникова И.В., Кузьмина М.В., Лисецкая Л.Г., Лозневая Е.Е. Оценка канцерогенного риска для населения экологически неблагоприятных территорий Иркутской области // *Медицина труда и промышленная экология*. — 2019. — Т. 59, № 2. — С. 117–121.
7. Мучкина Е.Я., Бадмаева С.Э., Коротченко И.С., Горлушкина К.С. Анализ распределения подвижных форм тяжелых металлов в почвенном покрове промышленно-урбанизированной территории г. Красноярск // *Экология и промышленность России*. — 2020. — Т. 24, № 4. — С. 66–71.
8. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В., Новикова Н.В. Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова предприятиями черной металлургии // *Экология и промышленность России*. — 2022. — Т. 26, № 8. — С. 59–65.
9. Hulisz P., Charzynski P., Greinert A. Urban soil resources of medium-sized cities in Poland: a comparative case study of Torun and Zielona Gora // *Journ. of Soils and Sediments*. — 2018. — Vol. 18, N 2. — P. 358–372.
10. 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. — Vol. 372. — P. 114371.
11. Бондаревич Е.А., Коцюржинская 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. — Т. 25, № 8. — С. 47–53.
12. Горностаева Е.А., Березин Г.И., Дабах Е.В. Тяжелые металлы в снежном покрове и городских почвах // *Теоретическая и прикладная экология*. — 2022. — № 3. — С. 110–117.
13. Yu C., Chen F., Zhang H., Wang Z. Pollution and health risk assessment of heavy metals in soils Guizhou, China // *Ecosystems Health and Sustainability*. — 2021. — Vol. 7, N 1. — 185948.
14. Гребенщикова В.И., Кузнецов П.В., Ефимова Н.В., Халбаев В.Л., Холодова М.С. Эколого-геохимическая оценка Иркутско-Ангарской промышленной зоны // *География и природ. ресурсы*. — 2017. — № 3. — С. 56–66.
15. Касимов Н.С., Власов Д.В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах Российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. — 2018. — № 3. — С. 14–22.

16. **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. — Т. 26, № 3. — С. 52–57.
17. **Кузьмина О.В., Пройдакова О.А., Янчук Т.М.** Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды г. Свирска (Иркутская область) // Изв. Иркутск. ун-та. Сер. Биология. Экология. — 2015. — Т. 11. — С. 81–92.
18. **Rai P.K., Lee S.S., Zhang M., Tsang Y.F., Kim K.-H.** Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management // Environment International. — 2019. — Vol. 125. — P. 365–385.
19. **Методические** рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. — М.: Изд-во Ин-та минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 1990. — 17 с.

Поступила в редакцию 02.08.2024

После доработки 20.09.2024

Принята к публикации 10.03.2025
