

Тяжёлые металлы в снежном покрове и городских почвах© 2022. Е. А. Горностаева¹, к. б. н., доцент,Г. И. Березин¹, к. б. н., доцент,Е. В. Дабах², к. б. н., с. н. с.,¹Вятский государственный университет,

610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

²Институт биологии Коми научного центра

Уральского отделения Российской академии наук,

167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

e-mail: ea_gornostaeva@vyatsu.ru

Проведена оценка загрязнения снежного покрова и почв разных функциональных зон г. Кирова тяжёлыми металлами (ТМ). Судя по состоянию снежного покрова, уровень загрязнения воздуха Zn, Cu, Pb, Ni, Cd в зимний период в разных функциональных зонах северной части города и на фоновой территории различается незначительно, но существенно варьирует по годам наблюдений. Выявлена корреляционная связь ($r = 0,98-0,99$) между содержанием ТМ в снежном покрове и их валовым содержанием в почве.

Показано, что уровень загрязнения почв будет зависеть от выбранных фоновых показателей. При отсутствии превышений ориентировочно допустимых концентраций валовых форм ТМ показатель суммарного загрязнения (Z_c) соответствует среднему уровню загрязнения почв в промышленной зоне. Загрязнение диагностируется по накоплению подвижных соединений ТМ, причём коэффициенты подвижности (показатели, не зависящие от выбранного фона) позволяют оценить риск накопления в почвах Pb и Cd в обменной и связанной с карбонатами формах в промышленной, а также в рекреационной зонах северной части города, как очень высокий.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, аккумуляция, снежный покров, городские почвы, урбанизированные территории, атмосферный воздух.

Heavy metals in snow cover and urban soils© 2022. E. A. Gornostaeva¹ ORCID: 0000-0003-4888-5736^{*}G. I. Berezin¹ ORCID: 0000-0002-0603-0652^{*}E. V. Dabakh² ORCID: 0000-0002-6088-4819^{*}¹Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

²Institute of Biology of the Komi Science Centre

of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

e-mail: ea_gornostaeva@vyatsu.ru

The pollution of snow cover and soils of different functional zones of the city of Kirov with heavy metals (HM) has been assessed. Judging by the state of the snow cover, the level of air pollution with Zn, Cu, Pb, Ni, Cd in winter in different functional zones of the northern part of the city and in the background territory differs slightly, but varies significantly over the years of observation. A correlation was found ($r = 0.98-0.99$) between the content of HMs in the snow cover and their total content in the soil.

It is shown that the level of soil pollution depends on the selected background indicators. In the absence of excess of gross forms of HM over approximate permissible concentrations, the indicator of total pollution (Z_c) corresponds to the average level of soil pollution in the industrial zone. Pollution is diagnosed by the accumulation of mobile HM compounds, and the mobility coefficients (indicators that do not depend on the selected background) make it possible to assess the risk of accumulation of Pb and Cd in soils in exchangeable and carbonate-related forms in the industrial, as well as in the recreational areas of the northern part of the city, as very high.

Keywords: heavy metals, accumulation snow cover, urban soils, urbanized areas, atmospheric air.

Кировская область – это промышленно развитый регион России. Основой экономического потенциала г. Кирова является производственная сфера (машиностроение и металлообработка, металлургическое производство) [1].

Промышленные предприятия сосредоточены в основном в северной части города. Вследствие высокой плотности предприятий разного профиля, в том числе тепловой электростанции (ТЭЦ-4), наличия развитой инфраструктуры (автомобильные, железнодорожные пути) тип загрязнения этой территории можно охарактеризовать как мозаичный.

В ряде работ, отражающих состояние окружающей среды (ОС) в г. Кирове, отмечен преимущественный вклад металлообрабатывающих предприятий, электроэнергетики, а также автотранспорта в загрязнение компонентов урбанизированной экосистемы тяжёлыми металлами (ТМ) [1–4]. Повышенным содержанием Pb, Cu и Zn (относительно фона) и токсичностью для тест-организмов характеризовались пробы снега, отобранные с участков, расположенных вблизи ТЭЦ-5 [5]. Также было выявлено загрязнение снежного покрова Cu и Ni, особенно вблизи автотрасс и промплощадок [6]. Отмечалось загрязнение снега Cd [7]. Для почв г. Кирова были отмечены особенности, присущие почвам многих городов: щелочная реакция, высокое содержание органического вещества, превышающее предельно допустимые концентрации (ПДК) содержание подвижных форм Zn, Cu, Ni, Pb при невысокой концентрации их валовых форм. Выявлена токсичность городских почв, как около перекрестков дорог, так и в парковой зоне [8].

Цель настоящей работы – оценить содержание тяжёлых металлов в снежном покрове и почвах в различных функциональных зонах г. Кирова, а также риски загрязнения почв подвижными соединениями тяжёлых металлов.

Объекты и методы исследования

Город Киров расположен на северо-востоке европейской части России в подзоне южной тайги в условиях умеренного континентального климата. Территория находится в зоне достаточного увлажнения: среднегодовое количество осадков – в пределах 560–580 мм, 60–70% выпадает в тёплое время года. Количество осадков, выпавших в зимний период 2020 и 2021 гг., превышало средние многолетние данные и составляло в 2020 г. – 196 мм

(144% от нормы), в 2021 г. – 170 мм (125% от нормы). Преобладающими ветрами в течение года являются юго-юго-западные, повторяемость южных ветров составляет около 20%, юго-западных – 18%. В январе частота юго-юго-западных ветров возрастает до 45%. Преобладание этих ветров отмечено и в 2020–2021 гг. – в годы отбора проб снега [9–11].

Объектами исследования были пробы снега и почв, отобранные на территории г. Кирова в зонах с разной функциональной нагрузкой: рекреационная, транспортная, промышленная (рис.). Промышленная зона представлена участками № 1 (вблизи машиностроительного предприятия – ОАО «Авиатек») и № 3 (в районе ОАО «Кировский завод по обработке цветных металлов»). Участок № 4 расположен в транспортной зоне вблизи крупного электромашиностроительного предприятия – ОАО «Лепсе». Рекреационная зона представлена участком № 2, находящимся на территории парка Победы. Условно фоновая территория – памятник природы «Дендропарк лесоводов Кировской области» расположена в слободе Сошени Нововятского района г. Кирова.

Отбор проб снега проводили в конце зимнего периода (конец марта) до начала активного снеготаяния в 2020 и 2021 гг. в соответствии с РД 52.04.186-89, ГОСТ 17.1.5.05-85 и [12]. Содержание ТМ в фильтрате снеговой воды определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ФР 1.31.2018.29677).

Пробы городских почв отбирали на тех же участках – №№ 1–4 и на фоновой территории (рис.) в мае 2021 г. по ГОСТ 17.4.3.01-2017. В них определяли валовые и подвижные формы ТМ, входящих в типичную для городских почв ассоциацию [13] – Zn, Cu, Pb, Ni, а также Cd методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ФР 1.31.2018.31189. Кроме того, в почвенных образцах определяли pH_{KCl} (ГОСТ 26483-85) для корректной оценки содержания ТМ по сравнению с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК).

Математическую обработку полученных результатов проводили в соответствии с требованиями методик количественного химического анализа.

Состояние городских почв оценивали согласно СанПиН 1.2.3685-21. Интенсивность накопления химических элементов в ОС определяли с помощью коэффициента концентрации K_c элемента, оценку загрязнения снежного покрова и почв производили по показателю суммарного загрязнения:

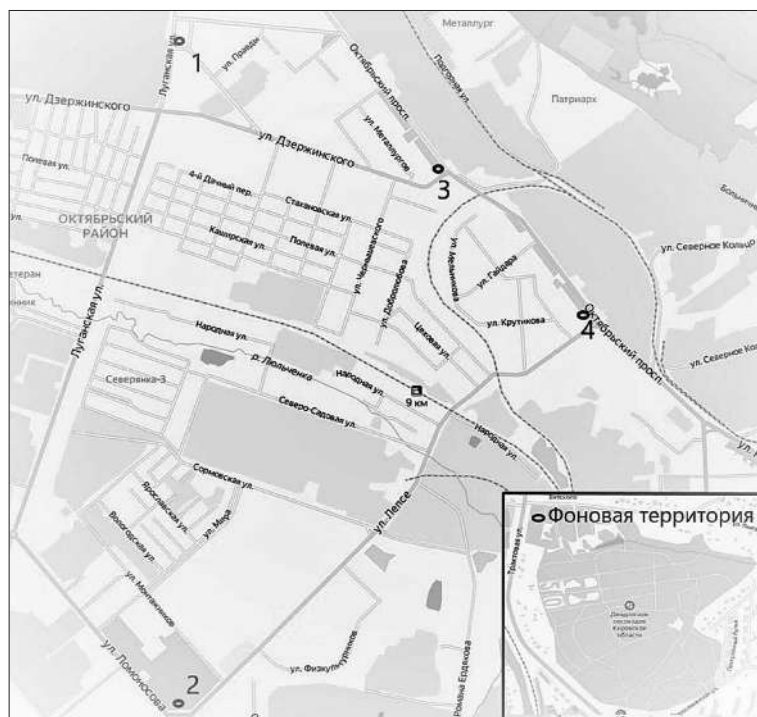


Рис. Схема расположения участков отбора проб снега и почв
 Fig. Layout of snow and soil sampling sites

$$Z_c = \sum K_{ci} - (n - 1), \quad (1)$$

где Z_c – суммарный показатель загрязнения; K_{ci} – коэффициенты концентрации элементов, представляющие отношение концентрации элемента в образце к фоновой концентрации; n – число химических элементов с $K_{ci} > 1$.

Коэффициент подвижности ТМ вычисляли по формуле:

$$K_{п} = \frac{C_{пф}}{C_{вф}} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где $C_{пф}$ – содержание подвижной формы металла в почве, мг/кг; $C_{вф}$ – содержание валовой формы металла в почве, мг/кг.

Оценку подвижности ТМ давали по шкале рисков [14], согласно которой риск выхода металла в раствор и попадания в пищевые цепи (Risk Assessment Code – RAC) отсутствует, если доля металла в обменной и связанной с карбонатами форме $< 1\%$, малый – $1-10\%$, средний – $11-30\%$, высокий – $31-50\%$, очень высокий – 50% и выше.

Результаты и обсуждение

Результаты определения содержания ТМ в пробах снега, отобранных в 2020 г. и 2021 г., представлены в таблице 1. Содержание Pb варьирует от 0,44 до 0,174 мг/дм³. Во второй

год отбора его количество на всех участках значительно ниже. Максимальное накопление Pb как в 2020, так и в 2021 г. выявлено на участке № 4, что вполне закономерно, так как участок находится в транспортной зоне около крупной дорожной развязки. Содержание Cd, напротив, в 2021 г. на всех площадках пробоотбора существенно выше, чем в предыдущем году. Различия в концентрации Cd в пробах снега из разных функциональных зон в 2020 г. незначительны, в пределах погрешности измерения, в 2021 г. наиболее низкое содержание отмечали в промзоне (участки 1 и 2). Максимальное количество Zn выявлено на фоновом участке в пробе, отобранной в 2020 г. Концентрация Zn в ней была на порядок выше, чем в других пробах. Повышенное содержание элемента отмечено также на участке № 3 в 2021 г. Возможно, это связано с выбросами завода по обработке цветных металлов, вблизи которого отбирали пробы снега.

В целом результаты определения ТМ в пробах снежного покрова, отобранных в разных функциональных зонах северной части г. Кирова, показывают мозаичность распределения ТМ в пространстве, отсутствие закономерного изменения во времени (по двухлетним данным), небольшие различия концентраций ТМ на участках наблюдения по сравнению с фоном (в основном в пределах 2-кратного превышения).

Таблица 1 / Table 1

Содержание тяжёлых металлов (мг/дм³) и коэффициент концентрации в пробах снега, отобранных в 2020 и 2021 гг. / Heavy metal content (mg/dm³) and concentration factor in snow samples taken in 2020 and 2021

Участок Area	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
2020 год / 2020 year					
Фон Background	0,122±0,028	0,002±0,001	0,068±0,018	0,008±0,002	0,074±0,015
1	<u>0,103±0,024*</u> 0,8	<u>0,003±0,001</u> 1,5	<u>0,003±0,001</u> <0,1	–	–
2	–	<u>0,003±0,001</u> 1,5	<u>0,006±0,002</u> 0,1	<u>0,006±0,001</u> 0,8	<u>0,063±0,013</u> 0,9
3	<u>0,121±0,028</u> 1,0	<u>0,004±0,001</u> 2,0	<u>0,011±0,003</u> 0,2	<u>0,009±0,002</u> 1,1	<u>0,045±0,013</u> 0,6
4	<u>0,17±0,04</u> 1,4	<u>0,004±0,001</u> 2,0	<u>0,006±0,002</u> 0,1	<u>0,005±0,001</u> 0,6	<u>0,060±0,013</u> 0,8
2021 год / 2021 year					
Фон Background	0,054±0,012	0,014±0,003	0,005±0,001	0,054±0,012	0,014±0,003
1	<u>0,044±0,012</u> 0,8	<u>0,005±0,001</u> 0,4	<u>0,005±0,001</u> 1,0	–	–
2	<u>0,064±0,015</u> 1,2	<u>0,010±0,002</u> 0,7	<u>0,003±0,001</u> 0,6	–	–
3	<u>0,097±0,022</u> 1,8	<u>0,012±0,002</u> 0,9	<u>0,026±0,007</u> 5,2	–	–
4	<u>0,111±0,025</u> 2,1	<u>0,013±0,002</u> 1,0	<u>0,008±0,002</u> 1,6	–	–

Примечание: * – над чертой – содержание ТМ, под чертой – коэффициент концентрации; «–» – результат измерения ниже предела обнаружения метода.

Note: * – above the line – HM content, below the line – concentration factor; “–” – the measurement result is below the detection limit of the method.

Таблица 2 / Table 2

Показатель суммарного загрязнения тяжёлыми металлами снежного покрова исследуемых участков г. Кирова / Indicator of total pollution of snow cover by heavy metals in the studied areas of the city of Kirov

Показатель суммарного загрязнения Total pollution index	Участок / Area			
	1	2	3	4
2020 год / 2020 year	1,5	1,5	2,1	2,4
2021 год / 2021 year	–	1,2	6,0	2,7

Примечание: прочерк обозначает, что показатель не может быть рассчитан.

Note: the dash indicates that the indicator cannot be calculated.

По показателю суммарного загрязнения снега ТМ выделяются участки № 3 и № 4 (табл. 2). Наиболее высокое его значение, обусловленное повышенной концентрацией Zn в пробах, отобранных около завода по обработке цветных металлов, может быть связано с выбросами предприятия.

Представленные результаты и немногочисленные данные по анализу снеговой воды в г. Кирове [6, 7] позволяют сделать вывод о том, что в северной промышленной части города аккумуляция ТМ в снежном покрове происходит интенсивнее (особенно Pb) даже по сравнению с нагруженными перекрёстка-

ми центральной части города. Несомненно, это обусловлено активным движением грузового транспорта в северной части города и ограничением его движения в центре. Господствующее направление ветров также способствует переносу загрязняющих веществ в северную и северо-восточную части города. Необходимо отметить, что пробы, отобранные в рекреационной зоне (парк лесоводов – фон и парк Победы – участок № 4), по содержанию рассматриваемых ТМ часто не отличаются от проб снега из промышленной части города, а в некоторых случаях содержат значительно больше ТМ (табл. 1). Таким образом, судя по

состоянию снежного покрова, уровень загрязнения воздуха ТМ в зимний период в разных функциональных зонах промышленной северной части города и на фоновой территории различается незначительно и существенно варьирует по годам наблюдений.

В 2021 г. было определено содержание ТМ в почвах (табл. 3). Почвы рассматриваемых участков, как и других территорий г. Кирова [8], отличаются от дерново-подзолистых почв подзоны южной тайги нейтральной или слабощелочной реакцией (pH_{KCl} 6,1–7,1), что характерно для городских почв (табл. 3). Исключением являются ненарушенные лесные почвы фонового участка, в образце которых значение pH_{KCl} 4,9 соответствует зональным дерново-подзолистым почвам. Количество валовых форм всех ТМ не превышало значений ОДК ни на одном из участков. Однако, как и в снеговой воде, в почвах на участках №№ 3 и 4 концентрации всех ТМ значительно выше.

Следует отметить, что высокие и близкие по значениям к указанным в таблице 3 концентрации валовых и подвижных форм изучаемых ТМ в северной части города были выявлены ранее [8]. На территории завода обработки цветных металлов содержание подвижной Cu варьирует в диапазоне 1,7–25 мг/кг, Pb – 1,0–6,6 мг/кг [15]. Выявленные около завода (участок №3) концентрации металлов в почвах соответствуют этому диапазону (табл. 3). В то же время содержание подвижных соединений Cd и Ni ниже, а Zn значительно выше указанных в [15] диапазонов. Загрязнение почв соединениями Zn и Pb в селитебной зоне г. Кирова с транспортной нагрузкой было отмечено в [16]: содержание валовых форм Zn в 2 раза превышало ПДК, а подвижных – в 3 раза, концентрации Pb были на уровне ПДК. Согласно [17], доля выбросов автотранспорта в загрязнении атмосферы в городе достигает почти 50%.

Таблица 3 / Table 3

Содержание валовых, подвижных форм ТМ и коэффициент концентрации их на исследуемых участках в 2021 г. / The content of gross content, mobile forms of heavy metals and concentration coefficient in the studied areas in 2021

Содержание элемента, мг/кг Element content, mg/kg	Фон Background	Участок / Area				ПДК (ОДК) mg/kg MPC (APC) mg/kg	
		1	2	3	4		
pH_{KCl}	4,9±0,2	7,1±0,2	7,0±0,2	6,1±0,2	7,0±0,2	–	
Валовая форма Gross content	Cu	3,7±0,9	<u>6,9±1,6*</u> 1,9	<u>5,0±1,2</u> 1,4	<u>46±11</u> 12,4	<u>38±9</u> 10,3	66–132**
	Pb	2,6±0,5	<u>4,8±1,0</u> 1,9	<u>2,6±0,4</u> 1,0	<u>4,2±0,9</u> 1,6	<u>24±5</u> 9,2	65–130**
	Zn	21±7	<u>30±10</u> 1,4	<u>18±6</u> 0,9	<u>190±60</u> 9,2	<u>140±50</u> 6,9	110–220**
	Ni	13,4±3,7	<u>11,6±3,8</u> 0,9	<u>9,2±3,1</u> 0,7	<u>47±13</u> 3,5	<u>16±4</u> 1,2	40–80**
	Cd	0,20±0,03	<u>0,20±0,10</u> 1,0	<u>0,20±0,10</u> 1,0	<u>0,30±0,10</u> 1,5	<u>0,90±0,20</u> 4,5	1–2**
Подвижная форма Mobile form	Cu	0,06±0,02	<u>0,50±0,10</u> 8,3	<u>0,15±0,04</u> 2,5	<u>6,0±1,4</u> 100,0	<u>2,1±0,5</u> 35,0	3
	Pb	1,60±0,30	<u>1,8±0,4</u> 1,1	<u>1,9±0,4</u> 1,2	<u>3,7±0,8</u> 2,3	<u>4,9±1,0</u> 3,1	6
	Zn	1,1±0,4	<u>6,2±2,1</u> 5,6	<u>2,6±0,9</u> 2,4	<u>36±12</u> 32,7	<u>30,00±10</u> 27,3	23
	Ni	0,30±0,10	<u>0,95±0,39</u> 3,2	<u>0,30±0,10</u> 1,0	<u>0,60±0,30</u> 2,0	<u>0,60±0,30</u> 2,0	4
	Cd	0,04±0,01	<u>0,10±0,03</u> 2,5	<u>0,16±0,05</u> 4,0	<u>0,06±0,02</u> 1,5	<u>0,70±0,20</u> 17,5	0,65–1,11 [15]

Примечание: «–» – значение отсутствует; * – над чертой – содержание ТМ, под чертой – коэффициент концентрации; ** – первая цифра – значение ОДК соответствует глинистым и суглинистым почвам с $pH_{KCl} < 5,5$, вторая – с $pH_{KCl} > 5,5$.

Note: “–” – no value; * – above the line – HM content, below the line – concentration factor; ** – the first digit in the APC value corresponds to acidic (clayey and loamy), $pH_{KCl} < 5.5$, the second for close to neutral and neutral (loamy and clayey), $pH_{KCl} > 5.5$.

Таблица 4 / Table 4

Показатель суммарного загрязнения ТМ почв исследуемых участков г. Кирова
Index of total heavy metal contamination of soils in the studied area of Kirov

Участки / Area	Содержание ТМ, мг/кг Element content, mg/kg					Z_c^*	Z_c^{**}
	Cu	Pb	Zn	Ni	Cd		
Региональный фон (общий) Regional background (general)	28	12	58	33	0,65– 1,11	–	–
Фон для г. Кирова Background for the city of Kirov	65	20	157	96			
Условный фон (дендропарк) Conditional background (arboretum)	3,7	2,6	21	13,4	0,2		
1	6,9	4,8	30	11,6	0,2	3,1	–
2	5	2,6	18	9,2	0,2	1,4	–
3	46	4,2	193	47	0,3	24,3	4,4
4	38	24	144	15,5	0,9	28,0	2,8

Примечание: * – Z_c рассчитан с учётом условного фона (дендропарк), ** – Z_c рассчитан с учётом регионального фона [18], прочерк – показатель не имеет смысла.

Note: * – Z_c calculated taking into account the conditional background (arboretum), ** – Z_c calculated taking into account the regional background [18], dash – the indicator does not make sense.

Состояние почв в промышленной части г. Кирова оценивали согласно СанПиН 1.2.3685-21, исходя из класса опасности металла и его содержания в почве. Слабая степень загрязнения ТМ 1 класса опасности – Pb, Zn и Cd, соответствующая диапазону концентраций от «2 фоновых до ПДК», выявлена в промышленно-транспортной зоне (участок № 4), а также Zn – в промышленной зоне (участок № 3). Слабая степень загрязнения Cu и Ni отмечена около завода обработки цветных металлов (участок № 3), Ni – у электромашиностроительного завода (участок № 4).

Показатель суммарного загрязнения ТМ (табл. 4), рассчитанный с учётом фоновых почв дендропарка, позволяет оценить состояние почв на участках №№ 1 и 2 как удовлетворительное ($Z_c < 16$), а на участках №№ 3 и 4 ($Z_c = 16–32$) отметить среднюю степень загрязнения почв и умеренно-опасную категорию загрязнения. Коэффициенты концентрации и, соответственно, показатели суммарного загрязнения зависят от содержания ТМ в фоновых почвах. Подобрать фоновый участок для городских почв проблематично. Ненарушенные дерново-подзолистые кислые почвы дендропарка не очень удачный вариант для сравнения с нейтральными и щелочными почвами города. Если для расчётов использовать данные по общему региональному фону [15, 18], то состояние почв на участках №№ 3 и 4 оценивается как удовлетворительное. Если ориентироваться на фоновые показатели непосредственно для почв г. Кирова [18], то полученные данные сопоставимы (табл. 4).

При экодиагностике состояния почв рекомендуют оценивать долю подвижных соединений ТМ от их общего содержания, поскольку этот показатель характеризует возможность перехода элемента в сопредельные среды, доступные для растений формы [19]. Однако содержание подвижных соединений ТМ подвержено значительной пространственной и временной вариабельности, обусловленной погодными, биотическими и антропогенными воздействиями. Доля подвижных соединений в загрязнённых почвах выше, чем в незагрязнённых, причём при полиметалльном загрязнении подвижность металлов в почве выше, чем при монометалльном, а многолетнее загрязнение ТМ ведёт к большему росту содержания их подвижных соединений по сравнению с однократным внесением [20, 21]. Также было отмечено, что с ростом дозы загрязняющего вещества происходит увеличение подвижных соединений элементов и их доли от валового содержания; наибольшая подвижность Pb, Zn и Cd была выявлена при комплексном загрязнении почв ТМ [22].

Концентрации подвижных соединений ТМ (табл. 3) в основном не превышают ПДК, однако в промышленной зоне (участки №№ 3 и 4) отмечено повышенное содержание подвижного Zn, а в районе завода по обработке цветных металлов (участок № 4) – двукратное превышение допустимой концентрации Cu.

Коэффициенты концентрации подвижных форм соответствующих элементов относительно условного фона (почв дендропарка)

Коэффициент подвижности тяжёлых металлов в почве
Mobility coefficient of heavy metals in soil

Участок / Area	Коэффициенты подвижности ТМ, % Mobility coefficients of heavy metals, %				
	Cu	Pb	Zn	Ni	Cd
Фон / Background	1,6	61,5	5,2	2,2	20
1	7,2	37,5	20,7	8,2	50
2	3	73,1	14,4	3,2	80
3	13	88,0	18,7	1,3	20
4	5,5	20,4	20,8	3,9	78

значительно выше, чем валовых форм, что также подтверждает загрязнение городских почв (табл. 3). Особенно заметны отличия K_c подвижных и валовых форм Cu и Zn на участках №№ 3 и 4.

По данным [23] коэффициенты подвижности – доля подвижных соединений от валового содержания ТМ для фоновых почв составляет 2–10%; при уровне загрязнения, соответствующем 1 ОДК, – 15–30%; для комплексного загрязнения этот показатель увеличивается до 30–40%; при дозе ТМ равной 10 ОДК в группу подвижных соединений переходит от 50 до 70% от валового содержания.

В изучаемых почвах коэффициенты подвижности Pb и Cd как в фоновых почвах, так и в почвах на участках в промышленной части города очень высокие (табл. 5). Подобные значения коэффициентов подвижности Pb и Cd отмечали в эксперименте при 10-кратном превышении допустимого содержания элемента в почвах, когда в группу подвижных соединений переходило от 50 до 70% от валового содержания [23]. Коэффициенты подвижности Cu характерны для незагрязнённых почв, Zn (< 30%) – соответствуют загрязнению ТМ на уровне, не превышающем 1 ОДК.

В почвах промышленной и транспортной зон выявлен высокий (участок № 1) и очень высокий (участки №№ 3 и 4) риск накопления подвижных соединений Pb и Cd (РАС). Особую опасность представляет накопление этих ТМ в рекреационной зоне (участок № 2), в которой риск загрязнения и включения ТМ в пищевые цепи оценивается как очень высокий.

Сопоставив содержание ТМ в снежном покрове и в почве, пришли к выводу, что наибольшее значение коэффициента корреляции Пирсона отмечается между их концентрациями в снежном покрове и валовыми формами ТМ в почве. В промышленной зоне на участках № 3 и № 4 коэффициенты корреляции составляют 0,98 и 0,99 соответственно, на участке

№ 2 (рекреационная зона) – 0,69, что свидетельствует о вкладе выбросов в загрязнение почвенного покрова промышленной зоны города.

Заключение

Таким образом, в северной промышленной части г. Кирова аккумуляция ТМ (особенно Pb) в снежном покрове происходит интенсивнее, чем в других районах города, что обусловлено выбросами предприятий, активным движением грузового транспорта и господствующими направлениями ветров. Наиболее высокое значение суммарного показателя загрязнения снега (за счёт повышенной концентрации Zn) может быть связано с выбросами завода по обработке цветных металлов. В целом, судя по состоянию снежного покрова, уровень загрязнения воздуха Zn, Cu, Pb, Ni, Cd в зимний период в разных функциональных зонах промышленной северной части города и на фоновой территории различается незначительно, но существенно варьирует по годам наблюдений. Выявлена корреляционная связь ($r = 0,98–0,99$) между содержанием ТМ в снежном покрове и их валовым содержанием в почве.

Валовое содержание ТМ во всех изученных почвах не превышало ОДК, максимальное их накопление характерно для участков, расположенных в промышленной зоне (№ 3 и № 4). Оценки состояния почв по показателю суммарного загрязнения существенно различаются в зависимости от выбора фоновых значений. Если в качестве фона рассматриваются ненарушенные почвы дендропарка, то категория загрязнения почв указанных участков промышленной зоны – умеренно-опасная, если учитывать общий региональный фон, то состояние почв удовлетворительное, если ориентироваться на фоновые значения для почв г. Кирова, то полученные данные близки к фоновым.

Концентрации подвижных соединений ТМ в основном не превышают ПДК, однако в промышленной зоне (участки №№ 3 и 4) отмечено повышенное содержание подвижного Zn, а в районе завода по обработке цветных металлов (участок № 4) – двукратное превышение допустимой концентрации Cu. **Высокие значения** K_c Cu, Zn и Cd в промышленной зоне также свидетельствуют о техногенном воздействии. Коэффициенты подвижности (показатели, не зависящие от выбранного фона) позволяют оценить риск накопления в почвах Pb и Cd в обменной и связанной с карбонатами формах в промышленной, а также в рекреационной зонах северной части города как очень высокий.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

References

1. Admkirov – General characteristics of the industry of the city of Kirov [Internet resource] <https://www.admkirov.ru/administration/economics/industry/> (Accessed: 10.08.2021) (in Russian).
2. Adamovich T.A., Tovstik E.V., Soloveva E.S., Ashikhmina T.Ya., Berezin G.I., Prokashev A.M., Savinykh V.P. Assessment of the state of soils in specially protected natural areas of the Kirov region // *Theoretical and Applied Ecology*. 2018. No. 4. P. 46–52 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-046-052
3. Motornov K.N. Impact of the industrial complex of the Kirov region on the environment [Internet resource] <https://geoman.ucoz.ru/Sbornik.pdf> (Accessed: 20.12.2021) (in Russian).
4. Olkova A.S., Zimonina N.M., Lyalina E.I., Bobretsova V.R. Diagnostics of local pollution of urbanozem in the areas of petrol stations // *Theoretical and Applied Ecology*. 2017. No. 1. P. 56–62 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-056-062
5. Skugoreva S.G., Fokina A.I., Lyalina E.I., Budina D.V., Zykova Yu.N. Assessment of the state of snow cover in the zone of influence of CHPP-5 in Kirov // *Modern research and development*. 2017. No. 4 (12). P. 481–487 (in Russian).
6. Bezdenezhnykh M.A., Berezin G.I., Zlobin S.S., Ashikhmina T.Ya., Burkov N.A. Assessment of the state of atmospheric air in Kirov by snow cover // *Biological monitoring of natural-technogenic systems*. Kirov: OOO Loban, 2011. P. 129–131 (in Russian).
7. Melnikova A.S., Kondakova L.V. Ecotoxicological assessment of the snow cover of the city of Kirov // *Biological monitoring of natural-technogenic systems*. Kirov: OOO Loban, 2011. P. 27–29 (in Russian).
8. Efremova V.A., Kondakova L.V., Dabakh E.V. Chemical and biological assessment of the state of urban soils // *Siberian Journal of Ecology*. 2013. V. 20. No. 5. P. 741–750 (in Russian).
9. Geography of the Kirov region. Atlas book / Eds. E.A. Kolevatykh, A.M. Prokashev, G.A. Russkikh. Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 2015. 80 p. (in Russian).
10. Weather in Kirov in September 2021 [Internet resource] <http://weatherarchive.ru/Temperature/Kirov/September-2021#3> (Accessed: 06.06.2022) (in Russian).
11. Kirov weather archive [Internet resource] https://world-weather.ru/archive/russia/kirov_1/ (Accessed: 06.06.2022) (in Russian).
12. Revich B.A., Saet Yu.E., Smirnova R.S. Methodological recommendations for assessing the degree of pollution of atmospheric air in settlements with metals according to their content in the snow cover and soil. Moskva: IMGRE, 1990. 15 p. (in Russian).
13. Karpova E.A., Motuzova G.V. Chemical pollution of the biosphere and its environmental consequences. Moskva: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, 2013. 304 p. (in Russian).
14. Perin G., Craboledda L., Lucchese M., Cirillo R., Dotta L., Zanetta M.L., Oro A.A. Heavy metal speciation in the sediments of northern Adriatic Sea. A new approach for environmental toxicity determination // *Proceedings of the International Conference “Heavy Metals in the Environment”*. Athens: CEP Consultants, 1985. P. 454–456.
15. Shikhova L.N., Egoshina T.L. Heavy metals in soils and plants of the taiga zone of the North-East of European Russia. Kirov: Regional Research Institute of Agriculture N.V. Rudnitskii North-East, 2004. 264 p. (in Russian).
16. Berezin G.I., Kutuyavina T.I., Halimova M.A., Medvedeva N.V. Study of the accumulation of heavy metals in the “soil–plant” system in the urban ecosystem (Kirov) // *Fundamental and applied research: hypotheses, problems, results: Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Novosibirsk: Tsentrazvitiya nauchnogo sotrudnichestva, 2017. P. 177–181 (in Russian).
17. On the state of the environment of the Kirov region in 2021: Regional report / Ed. A.V. Albegova. Kirov: Ministerstvo okhrany okruzhayushchey sredy Kirovskoy oblasti, 2021. 220 p. (in Russian).
18. Ecological and geochemical soil map of the Kirov region. Sankt-Peterburg: VSEGEI, 1996 (in Russian).
19. Ilyin V.B. On the rationing of heavy metals in soil // *Pochvovedenie*. 1986. No. 9. P. 90–98 (in Russian).
20. Kabata-Pendias A., Pendias X. Trace elements in soils and plants. Moskva: Mir, 1989. 439 p. (in Russian).
21. Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G. Composition of heavy metal compounds in soils. Rostovna-Donu: Izdatelstvo “Everest”, 2009. 208 p. (in Russian).
22. Plekhanova I.O., Zolotareva O.A. Ecological regulation of the state of soils contaminated with heavy metals // *Agrokhimiya*. 2020. No. 10. P. 79–88 (in Russian). doi: 10.31857/S0002188120100099
23. Plekhanova I.O., Zolotareva O.A., Tarasenko I.D., Yakovlev A.S. Evaluation of soil toxicity under conditions of heavy metal pollution // *Pochvovedenie*. 2019. No. 10. P. 1243–1258 (in Russian).