

## ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 550.42: 911

DOI: 10.17072/2079-7877-2019-80-100

ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ  
ИНДУСТРИАЛЬНОГО РАЙОНА Г. ПЕРМИ\***Елена Александровна Хайрулина**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9074-8551>e-mail: [khayrulina@psu.ru](mailto:khayrulina@psu.ru)*Естественнонаучный институт Пермского государственного национального  
исследовательского университета, Пермь***Иван Вячеславович Тимофеев**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8817-1231>e-mail: [vano-timofeev@yandex.ru](mailto:vano-timofeev@yandex.ru)*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва***Наталья Евгеньевна Кошелева**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7107-5718>e-mail: [natalk@mail.ru](mailto:natalk@mail.ru)*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

Одной из приоритетных экологических проблем крупных промышленных городов является техногенное загрязнение ландшафтов потенциально токсичными элементами (ПТЭ). Цель данного исследования – оценить характер их пространственного распределения в почвах Индустриального района г. Перми (Россия) с нефтеперерабатывающей и химической специализацией промышленности. На основе анализа карт функциональных зон, почвенной и элементарных геохимических ландшафтов установлена ландшафтно-функциональная структура района. Парагенетические ассоциации и факторы накопления ПТЭ в поверхностных горизонтах почв выявлены с помощью кластерного и регрессионного анализов. Степень техногенной геохимической трансформации почв определена по коэффициентам накопления  $K_c$  и рассеяния  $K_p$ , опасность загрязнения – путем сравнения с ПДК и по показателю суммарного загрязнения  $Z_c$ . Приоритетными загрязнителями почв Индустриального района г. Перми являются Ba, Sn, Pb. Выявлены три ассоциации ПТЭ с общими источниками и близким пространственным распределением: Zn-Ni-Cu-Cr-V-Co-As, Pb-Cd-Mo, Sb-W-Bi и Ba-Ti. Ведущими факторами накопления Cd, Mo, Sb, Sn, Bi, Ni, Pb, Zn в поверхностных горизонтах почв являются их физико-химические свойства, а для As, Ba, Cr, Ti, V и W – почвообразующие породы. Элементы накапливаются в основном на биогеохимическом и щелочном барьерах, емкость которых зависит от содержания гумуса и pH. Опасный уровень загрязнения Sn, Pb и As с 2–3-кратным превышением ПДК зафиксирован на 8 % территории района, в почвах промышленной зоны и вблизи крупной транспортной развязки.

Ключевые слова: ландшафтно-функциональное зонирование, потенциально токсичные элементы, загрязнение почв, парагенетические ассоциации, регрессионный и кластерный анализы, факторы накопления, экологическая опасность загрязнения.

---

© Хайрулина Е.А., Тимофеев И.В., Кошелева Н.Е., 2019

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Русского географического общества и РФФИ (проект № 17-05-41024-РГО).

**POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN SOILS OF THE INDUSTRIAL DISTRICT IN THE CITY OF PERM****Elena A. Khayrulina**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9074-8551>e-mail: [khayrulina@psu.ru](mailto:khayrulina@psu.ru)*Natural Science Institute of Perm State University, Perm***Ivan V. Timofeev**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8817-1231>e-mail: [vano-timofeev@yandex.ru](mailto:vano-timofeev@yandex.ru)*Lomonosov Moscow State University, Moscow***Natalya E. Kosheleva**ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7107-5718>e-mail: [natalk@mail.ru](mailto:natalk@mail.ru)*Lomonosov Moscow State University, Moscow*

One of the priority environmental problems of large industrial cities is technogenic contamination of landscapes with potentially toxic elements (PTEs). The purpose of this work is to evaluate the nature of their spatial distribution in the soils of the Industrial district of Perm (Russia), where oil refining and chemical production facilities are located. The landscape and land-use structure of the area was specified by overlaying the maps of land-use zones, soils and elementary geochemical landscapes. Paragenetic associations and factors of PTE accumulation in the topsoils were revealed using cluster and regression analyses. The degree of technogenic geochemical transformation of soils was determined by the accumulation  $K_c$  and dispersion  $K_d$  factors, the environmental pollution hazard was evaluated by comparison with the maximum permissible concentrations and by the integral index of pollution  $Z_c$ . The main pollutants in soils of the Industrial district of Perm are Ba, Sn, and Pb. Three associations and a pair of PTEs with common sources and a similar spatial distribution have been identified: Zn-Ni-Cu-Cr-V-Co-As, Pb-Cd-Mo, Sb-W-Bi and Ba-Ti. The leading factors for the accumulation of Cd, Mo, Sb, Sn, Bi, Ni, Pb, Zn in the topsoils are their physicochemical properties, while for As, Ba, Cr, Ti, V and W those are soil-forming rocks. The elements accumulate mainly on biogeochemical and alkaline barriers, whose capacity depends on the content of humus and pH. Dangerous levels of soil contamination with a 2-3-fold excess of MPCs for Sn, Pb and As were revealed in 8% of the studied area, namely, in the industrial zone and near a major traffic junction.

**Key words:** landscape and land-use zoning, potentially toxic elements, soil contamination, paragenetic associations, regression analysis, cluster analysis, accumulation factors, environmental pollution hazard.

**Введение**

Одной из приоритетных экологических проблем крупных промышленных городов является техногенное загрязнение ландшафтов (атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв и растительности) потенциально токсичными элементами (ПТЭ), основным источником которых являются выбросы автотранспорта и промышленных предприятий. Загрязняющие вещества из атмосферы осаждаются на поверхность почв, аккумулируясь в них в течение многих лет и становясь постоянным вторичным источником загрязнения окружающей среды. Промышленные центры по интенсивности загрязнения и площади аномалий ПТЭ представляют собой техногенные геохимические провинции [27, 28].

Город Пермь является одним из крупнейших экономических центров России с развитой тяжелой промышленностью. Здесь размещены предприятия машиностроения,

электроэнергетики, нефтегазопереработки, химии и нефтехимии, деревообработки, полиграфии и др. Поэтому ландшафтно-геохимические исследования на территории г. Перми довольно многочисленны и охватывают широкий круг экологических проблем города. В почвах Перми исследованы основные физико-химические и морфологические свойства почв, распространенных на территории города, и составлена их классификация [16, 31]; определены уровни содержания ПТЭ и нефтепродуктов [3, 5, 6, 16, 21, 23]; установлена связь между использованием антигололедных смесей и накоплением в почвах придорожных газонов Cu, Cr, Ni и Zn [6]; проведены эколого-биологическая и эколого-геохимическая оценки почвенного покрова [4, 16]; для левобережной части города составлены картосхемы функционального зонирования и урбопедокомплексов [31].

Вместе с тем остается ряд вопросов, требующих дальнейшего изучения. Эколого-геохимическая оценка компонентов городских ландшафтов не дифференцирована по функциональным зонам города, отличающимся как уровнями, так и набором приоритетных элементов-загрязнителей. Значительный теоретический и практический интерес представляет выявление ведущих ландшафтно-геохимических и антропогенных факторов, контролирующих аккумуляцию ПТЭ в основной депонирующей среде – почвах. Эта информация необходима для ландшафтно-функционального зонирования территории г. Перми, на основе которого должно оцениваться эколого-геохимическое состояние компонентов городских ландшафтов.

Цель данного исследования – определить уровни содержания и факторы пространственного распределения ПТЭ в почвах г. Перми на примере Индустриального района, где сосредоточены предприятия нефтеперерабатывающей и химической промышленности. Решались следующие задачи:

- изучить ландшафтно-функциональную структуру территории;
- установить элементы – приоритетные загрязнители почв в различных функциональных зонах;
- выявить парагенетические ассоциации ПТЭ и закономерности их пространственного распределения в поверхностных горизонтах городских почв;
- определить ведущие природные и антропогенные факторы аккумуляции ПТЭ в почвах;
- выполнить оценку загрязнения почв Индустриального района г. Перми и провести его районирование.

### Материалы и методы исследования

*Природные условия.* Город Пермь расположен на востоке Восточно-Европейской равнины, в северной части обширной геоморфологической области – Высокое Заволжье, представляющей собой всхолмленную денудационную равнину, слабо понижающуюся к западу, сильно расчлененную р. Камой и ее многочисленными притоками. Кристаллический фундамент, сложенный интрузивными породами архея и нижнего протерозоя, повсеместно перекрыт пермскими отложениями. Четвертичные отложения представлены аллювиальными, элювиально-делювиальными, озерно-болотными и техногенными образованиями [1, 30].

Климат умеренно континентальный с теплым летом ( $t_{июля} = 17\text{ C}$ ) и продолжительной, снежной, холодной зимой ( $t_{января} = -16\text{ C}$ ). Годовое количество осадков составляет 600–700 мм [1; 16]. Основной водной артерией города является р. Кама, в которую впадают реки Чусовая, Мойва и др. Естественная растительность представлена широколиственно-елово-пихтовыми лесами, произрастающими на дерново-подзолистых высокогумусированных и дерново-подзолистых со вторым гумусовым горизонтом почвах [15].

В селитебной и промышленных зонах природные почвы претерпели значительные изменения: поверхностный горизонт представляет собой насыпной перемешанный и

прогумусированный слой с примесью строительного-бытового мусора и промышленных отходов и диагностируется как «урбик» [7, 38]. Значительные площади в городе занимают техногенные поверхностные образования (ТПО): урбаноземы, экраноземы, урбикквиземы и реплантоземы [16, 31].

*Техногенное воздействие.* Ландшафты Индустриального района на северо-востоке г. Перми испытывают интенсивное техногенное воздействие [26]. Источником загрязнения является крупный промышленный узел «Осенцы», предприятия которого (ООО «ЛУКОЙЛ–Пермнефтеоргсинтез», ОАО «Минеральные удобрения», ЗАО «СИБУР–Химпром» и др.) являются лидерами по выбросам загрязняющих веществ (рис. 1). Его работу обеспечивает Пермская ТЭЦ-9, где в качестве топлива используют мазут и газ. На севере изучаемой территории расположено полиграфическое предприятие – филиал ФГУП «Гознак». Сеть автомагистралей включает шоссе Космонавтов, Героев Хасана, Карпинского, Мира, Спешилова. Значительную часть района занимает селитебная зона с усадебной застройкой и многоэтажными кварталами.

На территории Индустриального района находится крупнейший в г. Перми ООПТ «Черняевский лесопарк». Соседство с селитебной и промышленной зонами привели к пространственной дифференциации его экологического состояния. Ненарушенные природные экосистемы сохранились в центральной части лесопарка, на периферии наблюдаются наибольшая степень деградации растительного и почвенного покрова, загрязнение воздуха, значительная шумовая и рекреационная нагрузка [14]. Уменьшение техногенной трансформации ландшафтов по направлению к центральной части лесопарка в ряде мест нарушается при разгрузке или близком залегании загрязненных подземных вод, питание которых происходит в селитебной и промышленной зонах района [24].

*Материалы и методы.* Геохимическое опробование поверхностных (0–10 см) горизонтов почв Индустриального района Перми и фоновых почв в 15 км к востоку от города проводилось летом 2012–2013 гг. Количество и местоположение точек отбора смешанных образцов, состоящих из 3–4 индивидуальных (69, включая 7 фоновых), определялось по ландшафтно-геохимическому принципу с учетом функционального зонирования района (рис. 1). Валовое содержание 54 химических элементов после микроволнового кислотного разложения определялось масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно связанной плазмой в лаборатории физических и химических методов исследования ИГГ УрО РАН на приборе ELAN 9000 (Perkin Elmer, США). Для детального анализа нами выбраны 16 приоритетных загрязнителей, обладающих высокой токсичностью для живых организмов и относящихся к I (As, Cd, Pb, Zn), II (Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sb) и III (Ba, V, W) классам опасности [12], а также Bi, Sn и Ti.

Актуальная кислотность (pH) определена с помощью потенциометрического метода в водной суспензии (pH340i/set), содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) – методом И.В. Тюрина с титриметрическим окончанием, гранулометрический состав – методом лазерной дифракции (гранулометр «Analysette 22. Laser klasse 1» фирмы «Fritsch»).

Химико-аналитические данные обрабатывались с помощью статистических методов в программном пакете Statistica 8®. Вычислялись выборочные средние ( $M$ ), ошибки средних, средние квадратичные отклонения ( $\sigma$ ), коэффициенты вариации ( $Cv = \sigma/M \cdot 100\%$ ), максимальные ( $max$ ) и минимальные ( $min$ ) значения, коэффициенты корреляции ( $r$ ) и другие статистические показатели.

Геохимические особенности фоновых почв выявлялись путем сравнения среднего содержания элемента  $C_b$  с его кларком  $K$  в верхней части континентальной коры, рассчитывались кларки концентрации  $KK = C_b/K$  при  $C_b > K$  или рассеяния  $KP = K/C_b$  при  $C_b \leq K$ . Использовались значения кларков ПТЭ разных авторов, рекомендованные в [19]. Техногенную геохимическую трансформацию городских почв характеризовали

коэффициентами накопления или рассеяния относительно регионального фона:  $K_c = C_u/C_b$ ,  $K_p = C_b/C_u$ , где  $C_u$  – содержание элемента в городских почвах.

Полиэлементное загрязнение почв ПТЭ оценивалось на основе показателя суммарного загрязнения  $Z_c = \sum K_c - (n-1)$ , где  $n$  – количество элементов с  $K_c > 1$  [28]. При  $Z_c < 16$  загрязнение считается неопасным; при 16–2 – умеренно опасным; при 32–64 – опасным, при 64–128 – очень опасным и при  $Z_c > 128$  чрезвычайно опасным [17].

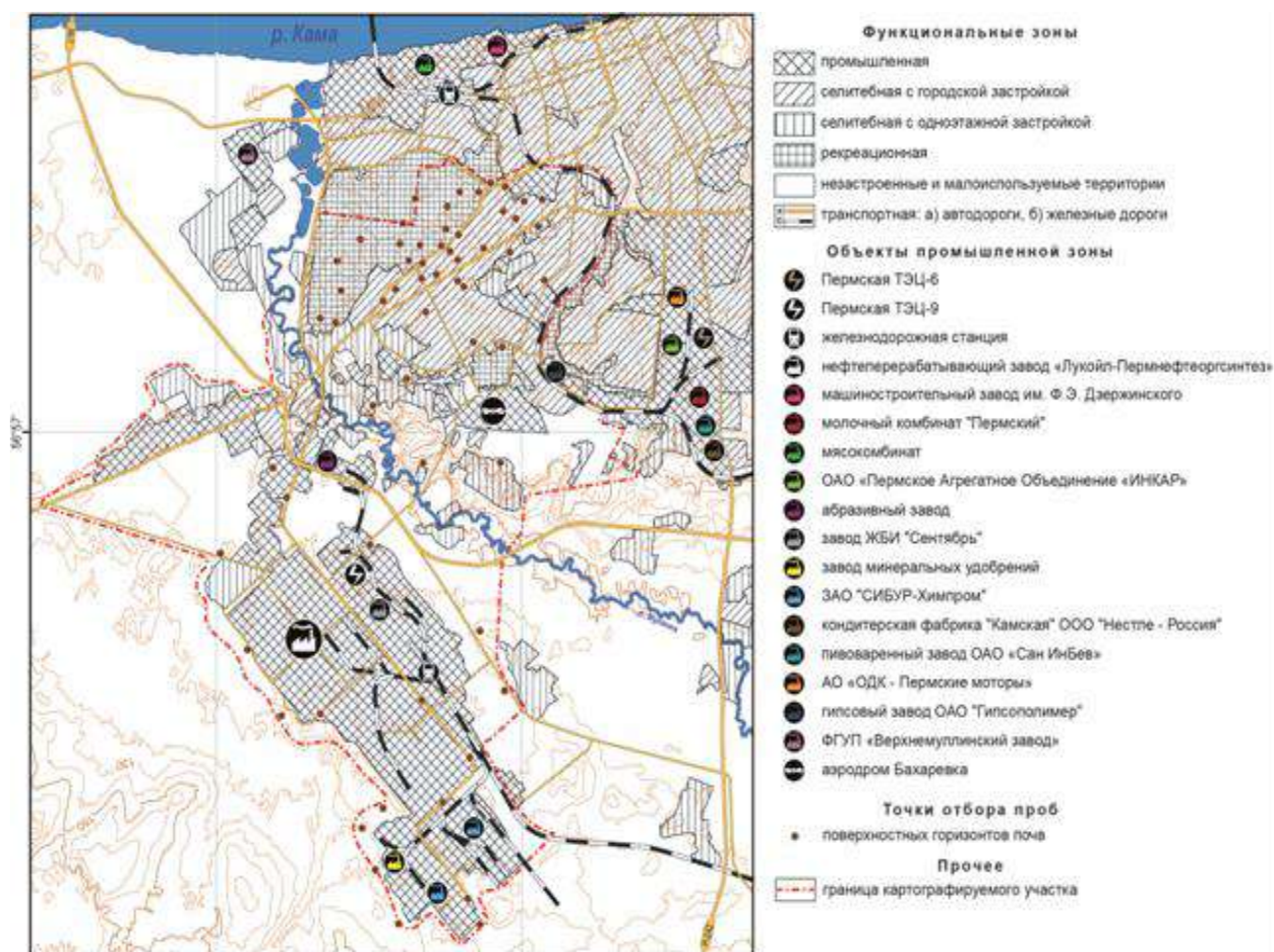


Рис. 1. Функциональное зонирование территории исследования и схема отбора проб из поверхностных горизонтов почв Индустриального района г. Перми

Ассоциации ПТЭ в городских почвах определялись с помощью геохимических спектров и кластерного анализа (алгоритм Complete Linkage). Последний позволяет сгруппировать ПТЭ в кластеры разного порядка при постепенном снижении порогового значения коэффициента корреляции  $r$  между содержанием пар элементов [29].

Факторы аккумуляции ПТЭ определены путем построения в пакете SPLUS (MathSoft, 1999 ®) регрессионных деревьев (дендрограмм), связывающих уровни содержания ПТЭ с наиболее сильно влияющими факторами, которые представлены как количественными, так и качественными переменными. Метод регрессионных деревьев заключается в последовательном делении таблицы данных по одному из факторов на две части таким образом, чтобы каждая из них была максимально однородной [43]. Метод позволяет прогнозировать уровни содержания поллютантов в почвах при различных сочетаниях факторов, а также оценить значимость последних [22, 40].

Визуализация почвенно-геохимических данных выполнена методом локальной интерполяции, или кригинга, в пакетах MapInfo 11.5 ® и Surfer 11 ®. Для предотвращения

завышенной оценки загрязнения территории при интерполяции данных исключались точки с экстремально высокими концентрациями ПТЭ, во много раз превышающими средний уровень в почвах города, которые выделялись по правилу «трех сигм». На карте они изображены в виде точечных аномалий.

Карта функционального зонирования Индустриального района составлена на основе космических снимков сверхвысокого разрешения (0,5 м, GeoEye-1) с учетом материалов Генерального плана города и полевых почвенно-геохимических исследований 2012–2013 гг. Карты почвенного покрова и элементарных геохимических ландшафтов составлены с использованием результатов ранее проведенных исследований [31], листа топографической карты 0-40-77 М 1:100000 (СССР, РСФСР Пермская область); спутникового снимка сверхвысокого разрешения территории г. Перми (0,5 м, GeoEye-1), полученного через сервис SAS-Planet; почвенной карты Пермского края М 1:300 000; авторских карт и картосхем М 1:100 000 [31]: векторных карт элементов рельефа, гранулометрического состава почвообразующих пород и урбопедокомплексов. Построенные карты дополнены данными о ландшафтах и их компонентах на территории исследования [2, 25]. Для описания и диагностики ненарушенных почв, агропочв и агроземов использована классификация почв России [20]; для городских слабо-, поверхностно- и глубоко-преобразованных почв, а также целенаправленно-созданных техноземов – систематика [8]. В основу карты элементарных ландшафтов Индустриального района положена геохимическая типология природных ландшафтов М.А. Глазовской [9].

### Результаты и их обсуждение

#### *Ландшафтно-функциональная структура территории*

Представление о ландшафтно-функциональной структуре урбанизированных территорий дают карты, содержащие информацию о видах хозяйственного использования земель, характере и интенсивности техногенной нагрузки, а также о природных условиях, контролирующей интенсивность миграции и аккумуляции поллютантов в компонентах городских ландшафтов [18]. Для изучаемой территории с помощью ГИС-технологий были составлены следующие карты: функционального зонирования, почвенная, элементарных геохимических ландшафтов. На территории Индустриального района выделено шесть функциональных зон: 1) лесопарковая; 2) сельскохозяйственная; 3) селитебная; 4) промышленная; 5) транспортная; 6) специального назначения.

Почвенный покров Индустриального района представлен шестью почвенными комбинациями с возможным включением в них ТПО: 1) дерново-подзолистые и серогумусовые почвы; 2) псаммоземы гумусовые и урбопсаммоземы; 3) агроурбодерново-элювоземы и агроурбодерново-подзолистые почвы; 4) урбодерново-элювоземы, экраноземы и запечатанные грунты; 5) урбосеро-гумусовые и темногумусовые глееватые почвы; 6) урбаноземы, экраноземы и запечатанные грунты. В сочетании с почвообразующими породами и границами функциональных зон выделенные на территории района почвенные комбинации образуют 15 урбопедокомплексов.

В пределах Индустриального района выделяются 3 рода элементарных ландшафтов: элювиальный, трансэлювиальный и трансаккумулятивный. Карта элементарных геохимических ландшафтов характеризует катенарную структуру территории и позволяет определить направление латеральных миграционных потоков загрязняющих веществ между водораздельными пространствами и сопряженными с ними депрессиями.

Результирующая карта ландшафтно-функциональной структуры Индустриального района г. Перми (рис. 2) получена путем совмещения карты функциональных зон и компонентов ландшафтов (почв, почвообразующих пород, родов элементарных геохимических ландшафтов). В пределах рассматриваемого района выделено 19 типов ландшафтно-функциональных комплексов (ЛФК) (рис. 2, табл. 1). Легенда к данной карте



(табл. 1) создавалась по матричному принципу, где входными данными, с одной стороны, являются выделенные функциональные зоны, а с другой – ландшафтно-геохимические факторы: тип природного ландшафта; почвенный покров (основные комбинации почв); почвообразующие породы; положение в ландшафтно-геохимической катене (элементарный ландшафт).

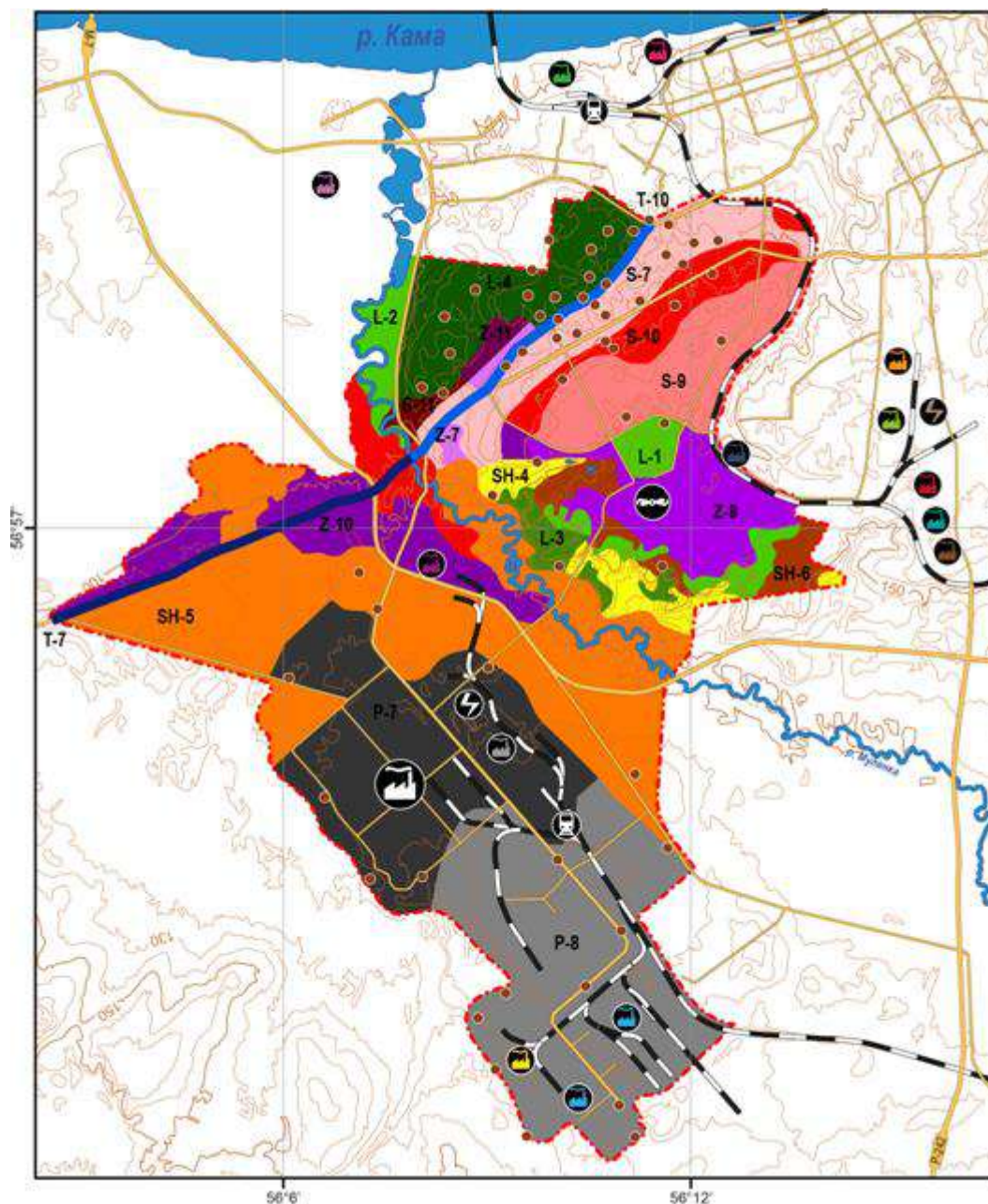


Рис. 2. Карта ландшафтно-функциональная структуры Индустриального района г. Перми (легенда к карте представлена в табл. 1)

Таблица 1

## Ландшафтно-функциональная структура территории Индустриального района г. Перми

Тип ландшафта		Подтаежные ландшафты (подзона смешанных хвойно-широколиственных лесов)												
Почвы		Дерново-подзолистая, серогумусовая			Псаммозем гумусовый и урбопсаммозем	Агроурбодерново-элювозем, агроурбодерново-подзолистая			Урбодерново-элювозем, экранозем и запечатанные грунты	Урбо-серогумусовая, темно-гумусовая глееватая	Урбанозем, экранозем и запечатанные грунты			
Почвообразующие породы*		1	1	2	4	1	1	2	3	1	1	1	4	
Положение в катене**		Э	ТА	ТЭ	ТА	Э	ТА	ТЭ	ТА	ТА	Э	ТА	ТА	
Функциональные зоны	Лесопарковая	<b>L</b>	<b>L-1</b>	<b>L-2</b>	<b>L-3</b>	<b>L-4</b>								
	Сельскохозяйственная	<b>SH</b>					<b>SH-4</b>	<b>SH-5</b>	<b>SH-6</b>					
	Селитебная	<b>S</b>								<b>S-7</b>		<b>S-9</b>	<b>S-10</b>	<b>S-11</b>
	Промышленная	<b>P</b>								<b>P-7</b>	<b>P-8</b>			
	Транспортная	<b>T</b>								<b>T-7</b>			<b>T-10</b>	
	Зона специального назначения	<b>Z</b>								<b>Z-7</b>		<b>Z-9</b>	<b>Z-10</b>	<b>Z-11</b>

Примечание: \*породы: **1** – красновато- и красновато-желтоватые глины и элювиально-делювиальные суглинки; **2** – красновато- и красновато-желтоватые глины и элювиально-делювиальные суглинки с выходами песчаников, алевролитов и аргиллитов; **3** – элювиально-делювиальные суглинки и двучленные породы; **4** – древнеаллювиальные отложения. \*\*Геохимическая позиция: Э – элювиальная, ТЭ – трансэлювиальная, ТА – трансаккумулятивная



На территории Индустриального района преобладают промышленные и селитебные ЛФК в трансаккумулятивных позициях, почвенный покров которых представлен урбаноземами. Значительную площадь занимают сельскохозяйственные комплексы с агроурбодерновыми и агроурбодерново-подзолистыми почвами на красновато- и красно-желтоватых глинах и элювиально-делювиальных суглинках.

#### Уровни содержания ПТЭ в фоновых и городских почвах

Эколого-геохимической оценке состояния почв Индустриального района предшествовало изучение фоновых дерново-подзолистых легкосуглинистых почв в 15 км к востоку от г. Перми. Среднее содержание гумуса в поверхностных горизонтах природных почв составило 3–6 %, рН – 4,6–5,3. Фоновые почвы имеют Cd-As-Zn специализацию ( $KK=1,2-3,8$ ). Все остальные элементы (табл. 2), за исключением сильно рассеивающегося Ti ( $KP=10,5$ ), характеризуются околочларковыми концентрациями.

Техногенное воздействие привело к изменению содержания ПТЭ в поверхностных горизонтах городских почв. Почвы района в целом отличаются повышенным содержанием Ba, Sn и Pb, но для каждой функциональной зоны выделены свои характерные элементы-загрязнители с  $K_c > 1,5$ . Наиболее загрязнены почвы промышленной зоны, в которой накапливаются Ba, Sn, Cu, Ni, Pb, Bi (рис. 3). Перечень элементов обусловлен выбросами предприятий нефтеперерабатывающей и химической промышленности, цветной металлургии, машиностроения, в состав которых, как правило, входят Sn, Pb, Zn, Cu, Sb, Bi и др. [28], а также электроэнергетики, где используется мазут, минеральные компоненты которого содержат соединения V, Ni, Cr, Mo, Pb, Cu [42].

Транспортная зона – вторая по уровню загрязнения, она отличается обширным перечнем приоритетных элементов-загрязнителей – Ba, Sn, Cu, Ni, Pb, Bi, Sb и W. ПТЭ поступают с выхлопами газов, при истирании шин и тормозных колодок, абразии дорожного покрытия и выдувании дорожной пыли [32–34, 41]. Наименее загрязнены поверхностные горизонты почв селитебной зоны с одноэтажной (дачной) застройкой, где, как и во всех почвах города, отмечается повышенное по сравнению с региональным фоном содержание Ba. Полученные величины коэффициентов  $K_c$  согласуются с ранее установленными [21].

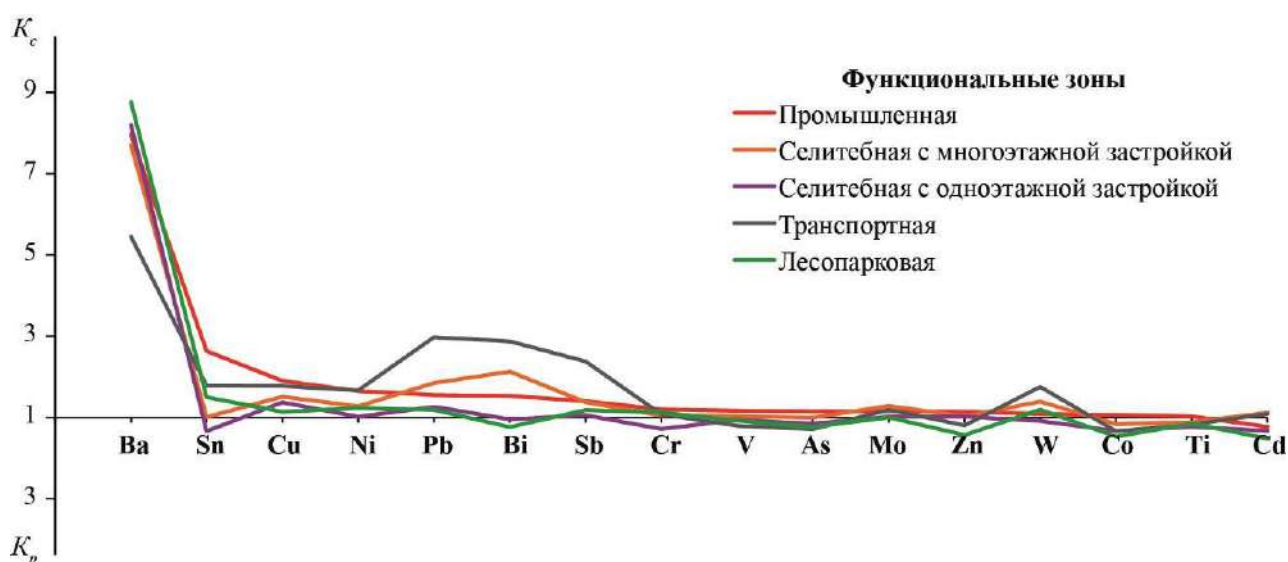


Рис. 3. Геохимические спектры ПТЭ в почвах в разных функциональных зонах Индустриального района г. Перми

Таблица 2

## Содержание ПТЭ в поверхностных (0–10 см) горизонтах фоновых почв и почв Индустриального района г. Перми, мг/кг

Функциональная зона (число проб)	As	Ba	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	V	W	Zn
Фоновые почвы (7)	<u>6,93*</u> 4,86–10,6	<u>389</u> 348–431	<u>0,1</u> 0–0,15	<u>0,34</u> 0,12–0,59	<u>15,9</u> 11–27,5	<u>85,4</u> 57–152	<u>27,3</u> 19,9–40,6	<u>0,81</u> 0,68–0,95	<u>43,1</u> 26,4–87,6	<u>13,6</u> 11,8–15,3	<u>0,72</u> 0,52–1,22	<u>1,79</u> 1,13–4,1	<u>372</u> 290–451	<u>82,8</u> 66,7–122	<u>1,3</u> 0,98–1,56	<u>91,3</u> 47,8–239
Промышленная (16)	<u>7,99</u> 5–11,4	<u>3097</u> 2204–4678	<u>0,16</u> 0,1–1	<u>0,28</u> 0,1–0,6	<u>16,9</u> 10,1–21,7	<u>102</u> 60–171	<u>51,83</u> 25,6–250	<u>0,93</u> 0,6–4,3	<u>71,36</u> 40,9–139	<u>21,1</u> 11,8–163	<u>1,01</u> 0,7–10,4	<u>4,73</u> 1,2–49,9	<u>383,15</u> 312–538	<u>96,9</u> 61–142	<u>1,41</u> 1–11,5	<u>104</u> 42,9–596
Селитебная с многоэтаж- ной застройкой (14)	<u>6,90</u> 2,98–14,9	<u>2998</u> 2219–5286	<u>0,22</u> 0,07–1,1	<u>0,39</u> 0,1–1,4	<u>13,7</u> 10,8–23,1	<u>89,7</u> 59–196	<u>41,2</u> 29,5–97,9	<u>1,04</u> 0,5–2,2	<u>55,1</u> 42,6–193	<u>25,1</u> 13,1–60,7	<u>1</u> 0,6–2,8	<u>1,81</u> 1,1–50,7	<u>335</u> 251–396	<u>85,2</u> 48,2–104	<u>1,81</u> 0,7–3,6	<u>93,9</u> 46,4–222
Селитебная с одноэтаж- ной застройкой (7)	<u>6,02</u> 3,07–9,47	<u>3189</u> 2023–4736	<u>0,1</u> 0,04–0,27	<u>0,26</u> 0,16–0,41	<u>11,9</u> 6,15–16	<u>66,6</u> 38–82,2	<u>37,5</u> 20,7–63,9	<u>0,82</u> 0,59–1,22	<u>44</u> 25,4–70,5	<u>17,2</u> 9,27–35,5	<u>0,76</u> 0,57–0,93	<u>1,34</u> 0,87–2,46	<u>302</u> 203–433	<u>78,2</u> 41,9–109	<u>1,2</u> 0,61–2,3	<u>93,6</u> 52,–165
Транспортная (5)	<u>5,38</u> 3,9–6,6	<u>2120</u> 1218–2904	<u>0,3</u> 0,1–0,4	<u>0,38</u> 0,2–2,2	<u>11,9</u> 6,3–15,8	<u>92,2</u> 43,1–148	<u>48,5</u> 23,2–80,5	<u>0,96</u> 0,5–1,5	<u>71,9</u> 34,3–122	<u>40,3</u> 31,3–256	<u>1,72</u> 0,8–2,7	<u>3,2</u> 0,9–6,9	<u>317</u> 278–1160	<u>68,8</u> 44,7–83,7	<u>2,28</u> 1,2–4,2	<u>76,6</u> 44,4–1109
Лесопарковая (20)	<u>5,64</u> 2,49–18,3	<u>3408</u> 860–6765	<u>0,08</u> 0–0,31	<u>0,23</u> 0,07–0,69	<u>10,8</u> 1,87–48,8	<u>96,4</u> 18,7–180	<u>31,1</u> 8,67–69,8	<u>0,81</u> 0,3–1,85	<u>53,3</u> 7,7–165	<u>16,1</u> 7,74–70,7	<u>0,86</u> 0,45–1,72	<u>2,7</u> 0,55–21,5	<u>325</u> 222–445	<u>76,7</u> 25,3–295	<u>1,55</u> 0,61–5,87	<u>63,9</u> 14,4–218
Район в целом (62) n=62	<u>6,57</u> 2,49–18,3	<u>3106</u> 860–6765	<u>0,15</u> 0–1,1	<u>0,29</u> 0,07–2,2	<u>13,3</u> 1,87–48,8	<u>92,7</u> 18,7–196	<u>40,7</u> 8,67–250	<u>0,9</u> 0,3–4,3	<u>58,9</u> 7,7–193	<u>21,2</u> 7,74–256	<u>0,99</u> 0,45–10,4	<u>2,9</u> 0,55–50,7	<u>339</u> 203–1160	<u>83,6</u> 25,3–295	<u>1,6</u> 0,61–11,5	<u>85,3</u> 14,4–1109
Кларки верхней части континентальной коры**	5,6	628	0,23	0,09	15	92	27	1,1	50	17	0,81	2,5	3900	106	2,03	75

Примечание: \* в числителе указано среднее значение, в знаменателе – *min-max*; \*\* Используются кларки Cd, Mo, Ba – по [44]; As, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sr, Ti, V, W, Zn – [13]; Bi, Cu, Co – [37]; Sn – [45].

*Пространственное распределение ПТЭ в поверхностных горизонтах городских почв*

Дифференциация загрязнителей в почвенном покрове города рассматривается для ПТЭ из нескольких парагенетических ассоциаций, выявленных с помощью кластерного анализа, элементы которых имеют общие зоны выноса и аккумуляции в почвах. В поверхностных горизонтах выделены три полиэлементные ассоциации Zn-Ni-Cu-Cr-V-Co-As, Pb-Cd-Mo, Sb-W-Bi, а также одна пара Ba-Ti. Sn не вошли ни в одну ассоциацию, так как его пространственное распределение имеет индивидуальные особенности. Полиэлементные ассоциации объединяют главные [35], т.е. чаще всего встречающиеся в виде соединений с халькогенами (S, Se и Te), и второстепенные халькофильные элементы [36], проявляющие подобные свойства в определенных условиях. Исключение составляют Cr и V, относящиеся к группам сидерофильных и литофильных элементов, соответственно. Распределение пары элементов Ba-Ti близко к равномерному ( $C_v=19$  и 40%, соответственно), поэтому их карты не приводятся.

Элементы полиэлементных ассоциаций Zn-Ni-Cu-Cr-V-Co-As, Pb-Cd-Mo и Sb-W-Bi образуют высококонтрастную аномальную зону вблизи промышленного узла «Осенцы» (рис. 4), выбросы которого поставляют в почвы большое количество поллютантов. Для этой зоны характерна наибольшая техногенная трансформация свойств поверхностного горизонта, выраженная в уменьшении содержания гумуса по отношению к фоновым почвам ( $C_{орг}=1,5-4\%$ ), подщелачивании (от 4,6 до 7,7) и утяжелении гранулометрического состава до среднего и тяжелого суглинка. Локальные аномалии приурочены к объектам нефтеперерабатывающей и химической промышленности, где содержания Zn достигают 596 мг/кг, Cu – 250, Ni – 139, Cr – 171, As – 11,4, Pb – 163, V – 142, Co – 21,7, Cd – 0,6, Mo – 4,3, Sb – 10,4, W – 11,5, Bi – 1 мг/кг, с превышением фоновых концентраций в 1,5–14,4 раза.

В северной части Индустриального района г. Перми вблизи ООПТ «Черняевский лесопар» выявлена вторая, менее контрастная зона аккумуляции ПТЭ в микрорайоне Балатово. Она протягивается с юго-запада на северо-восток вдоль одной из основных транспортных артерий города – шоссе Космонавтов, содержания элементов в ней превышают фоновые значения в 1,5–9 раз. Источником ПТЭ здесь являются автотранспорт и промышленные предприятия [3]. Минимальные концентрации ПТЭ из полиэлементных ассоциаций отмечаются в поверхностных горизонтах трансаккумулятивных лесопарковых ЛФК, на территории Черняевского леса. В целом же уровень содержания ПТЭ из полиэлементных ассоциаций зависит от расстояния до наиболее мощного источника загрязнения – промышленного узла «Осенцы».

Распределение Sn в поверхностных горизонтах Индустриального района г. Перми характеризуется тремя аномальными зонами (рис. 5): первая – в центральной части промышленной зоны «Осенцы», вблизи крупнейшей в Перми ТЭЦ-9, использующей в качестве сырья мазут и газ, и завода железобетонных изделий «Сентябрь», где концентрация Sn достигает 50,7 мг/кг, что более чем в 25 раз превышает фоновое содержание. Вторая аномалия с  $K_c=27,8$  – в южной части этого же узла, в непосредственной близости от предприятия минеральных удобрений. Третья – на севере района, на границе микрорайона Балатово и шоссе Космонавтов приурочена к одной из важнейших транспортных развязок города, здесь концентрация Sn превышает 20 мг/кг.

Таким образом, накопление ПТЭ в городских почвах обусловлено главным образом функциональной принадлежностью территории, а также близостью к источникам загрязнения. Наиболее контрастные аномалии загрязнителей образуются в зонах с сильной техногенной трансформацией свойств почв (средним и тяжелым гранулометрическим составом, кислой реакцией среды), которая приводит к увеличению их поглощающей способности. Эти изменения наиболее ярко выражены на юго-западе района в трансаккумулятивных промышленных ЛФК промышленного узла «Осенцы» с нефтехимической специализацией и на северо-востоке в трансаккумулятивных селитебных ЛФК микрорайона «Балатово» вблизи крупной транспортной развязки.



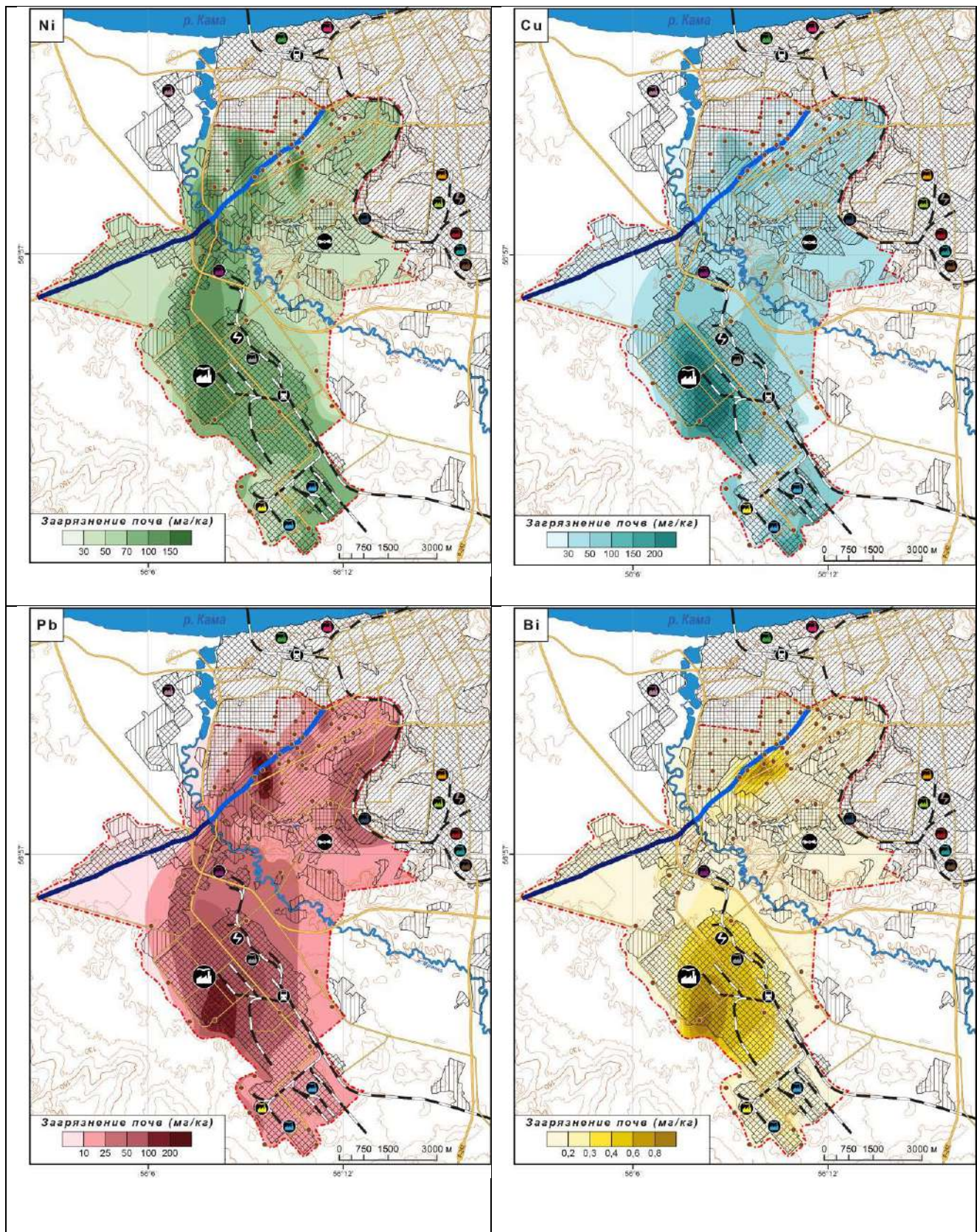


Рис. 4. Распределение Ni, Cu, Pb и Bi в поверхностных горизонтах почв  
Индустриального района г. Перми



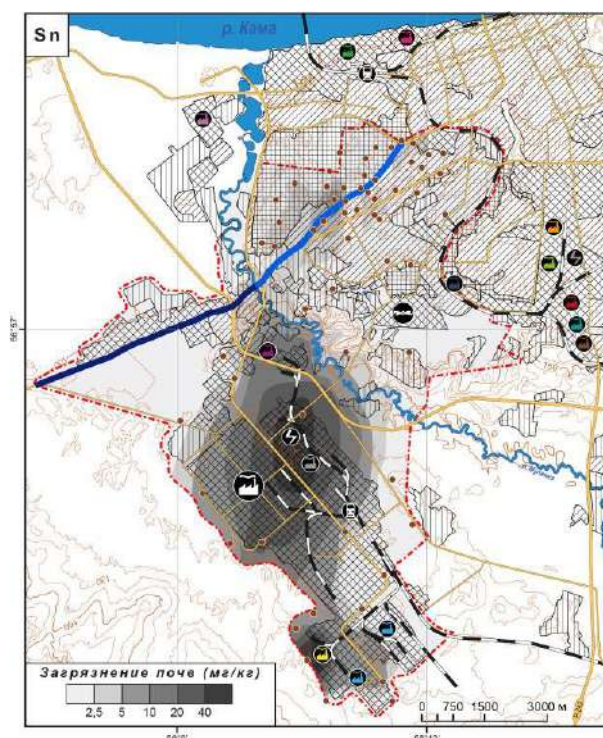


Рис. 5. Распределение Sn в поверхностных горизонтах почв Индустриального района г. Перми

#### *Факторы накопления ПТЭ в городских почвах*

Основными фазами-носителями, фиксирующими ПТЭ в почвах, являются гумусовые вещества (из-за образования комплексных соединений с металлами, труднодоступных для растений), илистая фракция (из-за способности поглощать различные катионы из растворов), оксиды и гидроксиды марганца и железа, подвижного фосфора, карбонатов, глинистые минералы, сорбирующие ПТЭ [39]. Важным почвенным свойством, влияющим на аккумуляцию элементов, является актуальная кислотность. При резкой смене кислотно-щелочных условий в почвах протекают процессы растворения или осаждения соединений ПТЭ. Для многих химических элементов также важна восстановительная обстановка, в которой они становятся более подвижными [27].

Роль природных и антропогенных факторов, обуславливающих пространственные различия в уровнях содержания ПТЭ в поверхностных горизонтах почв г. Перми, оценивалась путем многомерного регрессионного анализа. Рассмотрено влияние пяти факторов: 1) почвообразующей породы, определяющей природную геохимическую неоднородность почв; 2) реакции среды; 3) содержания гумуса; 4) гранулометрического состава; 5) функциональной принадлежности городских территорий, отражающей особенности антропогенного воздействия на изучаемый ландшафт;

По связи с теми или иными факторами все элементы разделяются на четыре группы. Для первых трех основными факторами являются природные особенности изучаемых ландшафтов: физико-химические свойства почв и ландшафтно-геохимические особенности территории. Наиболее малочисленная IV группа, в состав которой входят халькофильные Cu и Co, контролируется уровнем антропогенного воздействия на изучаемые ландшафты (табл. 3). При увеличении техногенной нагрузки в промышленной и транспортной зонах содержания элементов увеличиваются по сравнению с селитебной и лесопарковой зонами в 1,3–1,7 раз.



Таблица 3

Значимость природных и антропогенных факторов накопления ПТЭ в поверхностных горизонтах почв Индустриального района г. Перми

Фактор	I группа				II группа				III группа						IV группа	
	Cd	Mo	Sb	Sn	Bi	Ni	Pb	Zn	As	Ba	Cr	Ti	V	W	Cu	Co
Гумус	1+	1+, 3+	1+	1+	2+	3+, 4-	2+, 3-	2 +/-, 3+	3+, 4+	2+	2+, 3+, 4-	2-, 3-	3-	-	3+	4-
pH	2+, 3-, 4+	2+	2+	-	1+, 4+	1+	1+, 4+	1+, 4+	2+, 3+	3+, 5+	2+, 5+	3+	3+	2+, 4-	2+, 3+	2+, 3-, 4+
Гранулометрический состав	-	3	-	-	3	-	2	-	-	5	4	2	2	4	-	4
Почвообразующие породы	4	3, 4	3	2	2	2, 3	3	-	1, 4	1, 4	1	1, 3	1	1, 3	2, 3	3
Функциональная зона	3	2, 4	3, 4	2	-	2	4	-	2	2	3, 4	-	2	3, 5	1	1, 4

Примечание. Ранги от 1 до 5 показывают уменьшение значимости фактора, а знаки «+» или «-» для количественных факторов – прямую или обратную связь соответственно.

Содержание главных и второстепенных халькофильных элементов из первых двух групп – Cd, Mo, Sb, Sn и Bi, Ni, Pb, Zn в основном определяется физико-химическими свойствами почв; влияние функциональной принадлежности территории выражено гораздо слабее. Наиболее значимыми факторами для них являются содержание гумуса и реакция среды, соответственно, причем связь прямая. Это свидетельствует об аккумуляции элементов на биогеохимическом и щелочном геохимических барьерах, где средние концентрации ПТЭ увеличиваются в 1,5–7,1 раз.

Несмотря на значительный уровень техногенного воздействия, для As, Ba, Cr, Ti, V и W главным фактором пространственной дифференциации являются почвообразующие породы.

#### Оценка экологической опасности загрязнения почв

Принятые в России санитарно-гигиенические нормативы ПДК (ОДК) утверждены для узкого перечня элементов: V, Pb, As, Cd, Cu, Ni, Zn и Sb [10, 11]. При наличии для элемента и ПДК, и ОДК выбирался более жесткий норматив. Во всех функциональных зонах и в целом по городу наибольшую экологическую опасность представляет элемент первого класса опасности – As, содержание которого превышает утвержденные нормативы от 1,1 раза в лесопарковой до 1,6 раза в промышленных зонах. В транспортной зоне выявлены повышенные в 1,3 раза концентрации Pb, основным источником которого является автотранспорт.

Так как г. Пермь является многоотраслевым промышленным центром, то помимо эколого-геохимической оценки моноэлементного загрязнения важно провести анализ полиэлементного загрязнения поверхностного горизонта почв, которое характеризуется суммарным показателем загрязнения  $Z_c$ . Разброс значений показателя  $Z_c$  составил 1,5–85 при медианном значении 10,5, устойчивом к аномальным отклонениям, который соответствует низкому уровню загрязнения. Анализ пространственного распределения показателя  $Z_c$  (рис. 6) выявил высококонтрастную аномальную зону, приуроченную к центральной части промышленного узла «Осенцы» со значениями до 85, что свидетельствует об очень высоком уровне загрязнения. Вторая аномальная зона с высоким уровнем загрязнения расположена в северной части Индустриального района, в микрорайоне «Балатово» вблизи ш. Космонавтов. Эти участки занимают 8% общей площади района, примыкающие к ним территории относятся к категории среднего и умеренно-опасного загрязнения. На остальной территории района уровень загрязнения почв низкий ( $Z_c < 16$ ).

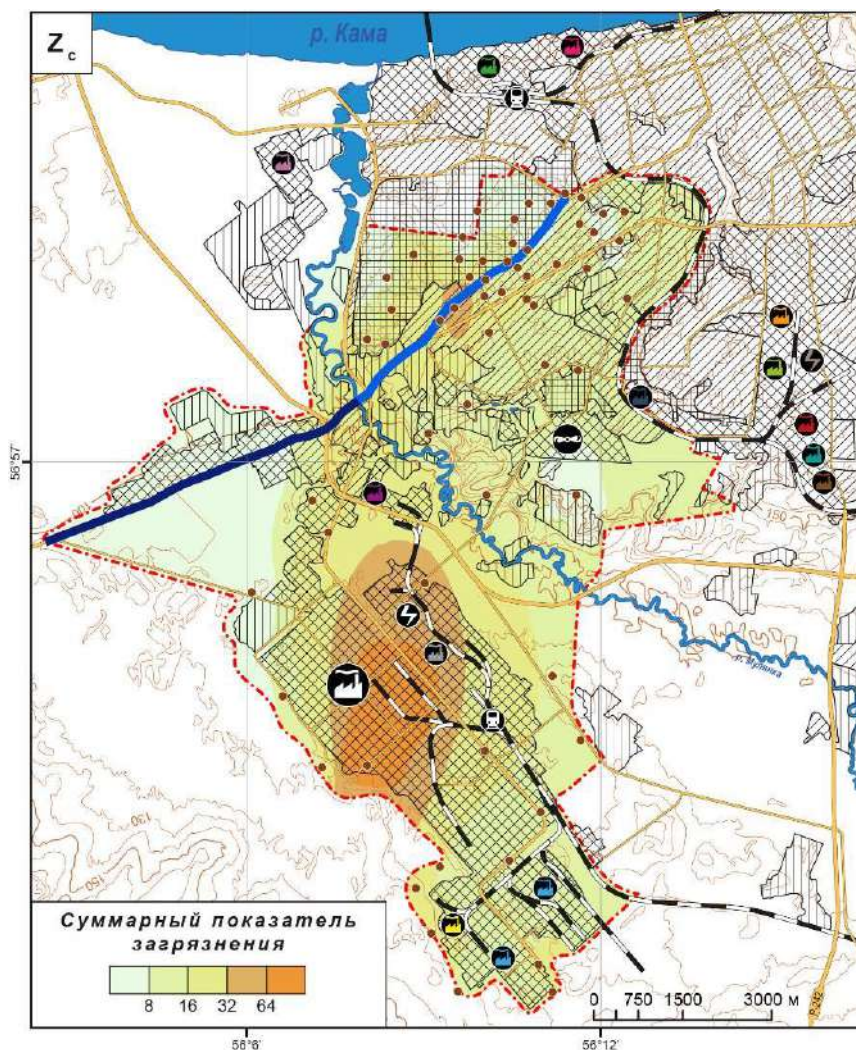


Рис. 6. Суммарное загрязнение почв ПТЭ по показателю  $Z_c$  в Индустриальном районе г. Перми

### Выводы

На основе анализа ландшафтно-функциональной структуры Индустриального района г. Перми выделены 19 типов ландшафтно-функциональных комплексов. Преобладающими являются промышленные и селитебные ЛФК, почвенный покров которых представлен урбаноземами. Значительную площадь района занимают трансэлювиальные и трансаккумулятивные сельскохозяйственные ЛФК с агроурбодерновыми и агроурбодерново-подзолистыми почвами на красновато- и красно-желтоватых глинах и элювиально-делювиальных суглинках.

Геохимическая специализация фоновых почв характеризуется повышенным относительно кларков верхней части континентальной коры содержанием Cd, As, Zn. Содержание остальных ПТЭ в фоновых почвах близко или ниже глобальных кларков. Наибольшее рассеяние характерно для Ti. Приоритетными загрязнителями почв Индустриального района г. Перми являются Ba, Sn, Pb ( $K_c=1,5-8,8$ ). Их основными источниками являются выбросы предприятий нефтехимической промышленности, металлургии, машиностроения и автотранспорта.

В почвах Индустриального района выделены три ассоциации ПТЭ с близким пространственным распределением и общими источниками: Zn-Ni-Cu-Cr-V-Co-As, Pb-Cd-Mo, Sb-W-Bi, а также пара Ba-Ti. Первые три образуют техногенные аномалии на юго-западе района, где расположен промышленный узел «Осенцы» с нефтехимической специализацией,

и на северо-востоке в микрорайоне «Балатово» вблизи крупной транспортной развязки. Распределение пары элементов Ва-Ti близко к равномерному.

Наиболее важными факторами накопления Cd, Mo, Sb, Sn, Bi, Ni, Pb, Zn в поверхностных горизонтах почв Индустриального района г. Перми являются их физико-химические свойства, а для As, Ba, Cr, Ti, V и W – почвообразующие породы. Элементы накапливаются преимущественно на биогеохимическом и щелочном геохимических барьерах, емкость которых зависит от содержания гумуса и реакции среды, соответственно. Принадлежность к той или иной функциональной зоне, определяющая антропогенную нагрузку, оказывает наиболее сильное влияние на распределение Cu и Co.

Опасный и очень опасный уровни загрязнения ( $32 < Z_c < 85$ ) зафиксированы в почвах промышленной зоны и вблизи крупной транспортной развязки в селитебной части микрорайона «Балатово», примыкающей к действующим предприятиям. Здесь выявлено 2–3-кратное превышение ПДК Sn, Pb и As. Остальная территория характеризуется низким уровнем загрязнения. Во всех функциональных зонах установлено незначительное превышение ПДК по As, а в транспортной зоне – Pb.

### Библиографический список

1. *Атлас Пермского края* / под общ. ред. А.М. Тартаковского. Пермь, 2012. 124 с.
2. Баранова О.Г., Егоров И.Е., Стурман В.И. К вопросу о положении южной границы таёжной зоны на территории Западного Предуралья // Вестник Удмуртского ун-та. Сер. Биология. Науки о земле. 2010. Т. 1. С. 58–69.
3. Бузмаков С.А., Кувшинская Л.В., Жекин А.В., Кулакова С.А., Гатина Е.Л., Зайцев А.А. Оценка современного состояния особо охраняемой природной территории «Черняевский лесопарк г. Перми» // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. №1–3. С. 408–413.
4. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова г. Перми: тяжелые металлы и мышьяк // Пермский аграрный вестник. 2015. Т. 9. С. 34–49.
5. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Лобанова Е.С. Загрязненность тяжелых металлов и металлоидами почв города Перми // Агрохимия. 2009. Т. 4. С. 60–68.
6. Ворончихина К.А., Щукин А.В., Щукина Н.И. К оценке геохимического состояния урбозкосистемы Перми в связи с использованием противогололедных реагентов // Географический вестник. 2014. №2(29). С. 78–79.
7. Герасимова М.И. География почв России. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. 312 с.
8. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
9. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена, 2002. 288 с.
10. ГН 2.1.7.2041-06. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве», утвержден главным гос. санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2006.
11. ГН 2.1.7.2042-06. «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве», утвержден главным гос. санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2006.
12. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М., 2008.
13. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
14. Двинских С.А., Максимович Н.Г., Малеев К.И., Ларченко О.В. Экология лесопарковой зоны города. СПб.: Наука, 2011. 154 с.

15. Добровольский В.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, КолосС, 2004. 460 с.
16. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь, 2016. 252 с.
17. Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Кислов А.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М., Малхазова С.М., Шартова Н.В. Проблемы экогеохимии крупных городов // Охрана и разведка недр. 2012. №7. С. 8–13.
18. Касимов Н.С., Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). 1. Картографическое обеспечение // Геоинформатика. 2012. Т. 4. С. 37–45.
19. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. №2. С. 7–17.
20. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.
21. Копылов И.С. Аномалии тяжелых металлов в почвах и снежном покрове города Перми как проявления факторов геодинамики и техногенеза // Фундаментальные исследования. 2013. Т.1. С. 335–339. URL: <http://www.fundamentalresearch.ru/ru/article/view?id=30946> (дата обращения: 03.04.2018).
22. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В. Факторы накопления тяжелых металлов и металлоидов на геохимических барьерах в городских почвах // Почвоведение. 2015. №5. С. 536–553.
23. Лантева А.К., Шишкин М.А. Технофильные элементы в депонирующих средах на территории г. Перми // Вестник Пермского научного центра. 2010. Вып. 2. С. 17–25.
24. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Особенности исследования подземных вод лесопарковой зоны крупного промышленного города // Инженерные изыскания. 2011. Т. 5. С. 36–44.
25. МУЭП. Состояние и охрана окружающей среды г. Перми в 2003 г.: Справочно-информационные материалы. Пермь, 2004. 46 с.
26. Официальный сайт правительства г. Перми. URL: <http://www.gorodperm.ru> (дата обращения: 27.03.2018).
27. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов. М.: Астрейя–2000, 1999. 610 с.
28. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
29. Самонова О.А., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С. Ассоциации микроэлементов в профиле дерново-подзолистых почв южной тайги // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1998. №2. С. 14–19.
30. Ушков Б.К. Карта четвертичных отложений Пермской области. Пермь, 2000.
31. Шестаков И.Е., Еремченко О.З., Филькин Т.Г. Картографирование почвенного покрова городских территорий на примере г. Пермь // Почвоведение. 2014. Т. 1. С. 12–21.
32. Charlesworth S., Miguel E. De, Ordonez A. A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk // Environ. Geochem. Health. 2011. Т. 33. №2. С. 103–123.
33. Demetriades A., Birke M. Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample preparation, Laboratory analysis, Quality control check, Statistical processing and Map plotting. Brussels: EuroGeoSurveys, 2015. 162 с.
34. Gietl J.K., Lawrence R., Thorpe A.J., Harrison R.M. Identification of brake wear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a major road // Atmos. Environ. 2010. Т. 44. №2. С. 141–146.
35. Goldschmidt V.M. Geochemische Verteilungsgesetze und kosmische Haufigkeit der Elemente // Naturwissenschaften. 1930. Т. 18. №47–49. С. 999–1013.

36. Greenwood N.N., Earnshaw A. Chemistry of the Elements. Second Edition. Butterworth-Heinemann, 1997. 1359 с.
37. Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // *Chemical Geology*. 2008. V. 253. Iss. 3–4. P. 205–221.
38. *IUSS Working Group WRB*. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. 203 с.
39. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. Fourth Edition. Boca Raton: CRC Press, 2011. 548 с.
40. Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Timofeev I.V. Potentially toxic elements in urban soil catenas of W-Mo (Zakamensk, Russia) and Cu-Mo (Erdenet, Mongolia) mining areas // *J. Soils&Sediments*. 2017. DOI: 10.1007/s11368-017-1897-8.
41. Limbeck A., Puls C. Particulate Emissions from On-Road Vehicles // *Urban Airborne Particulate Matter* / Eds. F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2010. C. 63–79.
42. Pacyna E.G., Pacyna J.M., Fudala J., Strzelecka-Jastrzab E., Hlawiczka S., Panasiuk D., Nitter S., Pregger T., Pfeiffer H., Friedrich R. Current and future emissions of selected heavy metals to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe // *Atmos. Environ.* 2007. Vol. 41. №38. C. 8557–8566.
43. Rawls W.J., Pachepsky Y.A. Using field topographic descriptors to estimate soil water retention // *Soil Sci.* 2002. Vol. 167. №7. C. 423–435.
44. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on geochemistry*. V. 3. Elsevier Science, 2003. P.1–64.
45. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. Vol. 59. №7. P. 1217–1232.

### References

1. Tartakovskij, A.M. (ed.) (2012), *Atlas Permskogo kraja* [Atlas of the Perm Region], Perm, Russia.
2. Baranova, O.G., Egorov, I.E. and Sturman, V.I. (2010) “On the south limit of taiga in the western part of pre-Urals” *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, V. 6(1). pp. 58–69.
3. Buzmakov, S.A., Kuvshinskaya, L.V., Zhekin, A.V., Kulakova, S.A., Gatina, E.L. and Zaytsev, A.A. “Estimation of a modern state of specially protected natural territory " Chernyaevskiy park-forest in Perm” *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, V. 11(1–3), pp. 408–413.
4. Vasiliev, A.A. and Lobanova, E.S. (2015) “Ecological and geochemical estimation of soil cover in Perm: heavy metals and arsenic” *Perm Agrarian Journal*, no. 9 (1). pp. 34–49.
5. Vodyanitskii, Yu.N., Vasil’ev, A.A. and Lobanova, E.S. (2009) “Soil Contamination with Heavy Metals and Metalloids in the City of Perm” *Agricultural chemistry*, no. 4. pp. 60–68.
6. Voronchihina, Y.A, Shchukin, A.V. and Schukina, N.I. (2014) “To assess the status of geochemical urboèkosistemy Perm in connection with the use of anti-frost agents” *Geographical bulletin*, V. 2. no. 29. pp. 78–79.
7. Gerasimova, M.I. (2007) *Geografiya pochv Rossii* [Geography of russian soils], Moscow, Russia.
8. Gerasimova, M.I., Stroganova, M.N., Mozharova, N.V. and Prokof’eva, T.V. (2003) *Antropogennye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivaciya* [Anthropogenic soils: genesis, geography, recultivation], Ojkumena, Smolensk, Russia.
9. Glazovskaya, M.A. (2002) *Geohimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovanij prirodnyh landshaftov* [Geochemical basis of typology and methods of natural landscape research], Ojkumena, Smolensk, Russia.



10. Federal service for supervision of consumer rights protection and human welfare (2006) *GN 2.1.7.2041-06 Predelno dopustimye koncentracii PDK himicheskikh veshchestv v pochve* [GN 2.1.7.2041-06 The maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the soil], Moscow, Russia.
11. Federal service for supervision of consumer rights protection and human welfare (2006) *GN 2.1.7.2042-06 Orientirovочно dopustimye koncentracii odk himicheskikh veshchestv v pochve* [GN 2.1.7.2042-06 Approximate-permissible concentrations (ODC) of chemical substances in soil], Moscow, Russia.
12. Standartinform (2008) *GOST 17.4.1.02-83. Ohrana prirody pochvy klassifikaciya himicheskikh veshchestv dlya kontrolya agryazneniya* [GOST 17.4.1.02-83 Nature protection. Soils. Classification of chemical for pollution control], Moscow, Russia.
13. Grigorev, N.A. (2009), *Raspreделение himicheskikh ehlementov v verhnej chasti kontinentalnoj kory* [Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust], UrB of RAS, Ekaterinburg, Russia.
14. Dvinskih, S.A., Maksimovich, N.G., Maleev, K.I. and Larchenko, O.V. (2011) *Ehkologiya lesoparkovoj zony goroda* [Ecology of the forest park zone of the city], Nauka, Sankt-Peterburg, Russia.
15. Dobrovolskij, V.V. and Urusevskaya, I.S. (2004) *Geografiya pochv* [Geography of soils], KoloS, Moscow, Russia.
16. Eremchenko, O.Z., Shestakov I.E. and Moskvina N.V. (2016), *Pochvy i tekhnogennye poverhnostnye obrazovaniya urbanizirovannyh territorij permskogo Prikamya* [Soils and technogenic surface formations in the territory of Perm Kraji], Perm state university, Perm, Russia.
17. Kasimov, N.S., Bitjukova, V.R., Kislov, A.V., Kosheleva, N.E., Nikiforova, E.M., Malhazova, S.M. and Shartova, N.V. (2012), “Problems of ecological geochemistry of big cities” *Prospect of mineral resources*, no. 7. pp. 8–13.
18. Kasimov, N.S., Nikiforova, E.M., Kosheleva, N.E. and Khaybrakhmanov, T.S. (2012), “Geoinformation landscape and geochemical mapping of city territories (the case of Eastern District of Moscow). 1. Cartographic support.” *Geoinformatika*, no.4, pp. 37–45.
19. Kasimov, N.S. and Vlasov, D.V. (2015), “Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry”, *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Geografia*, no. 2., pp. 7–17.
20. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia] (2004), Ojkumena, Smolensk, Russia.
21. Kopylov I.S. (2013), “Anomalies of heavy metals in soils and snow cover of the city of Perm, as manifestations of geodynamic and technogenic factors”, *Modern problems of science and education*, no. 1. pp. 335–339. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=30946> (Accessed: 03.04.2018).
22. Kosheleva, N.E., Kasimov, N.S. and Vlasov, D.V. (2015), “Factors of the accumulation of heavy metals and metalloids at geochemical barriers in urban soils”, *Eurasian Soil Science*, no. 5, pp. 536-553.
23. Lapteva, A.K. and Shishkin, M.A. (2010), “Technophile elements in depositing environment in the territory of Perm” *Vestnik permskogo nauchnogo centra*, no. 2. pp. 17–25.
24. Maksimovich, N.G and Khayrulina, E.A. (2011), “Features of investigating recreational forest groundwater of a large industrial city”, *Engineering survey*, no. 5. pp. 36–44.
25. Municipal Department for Ecology and Nature Management (2004), *State and environmental protection of Perm in 2003: Reference and information materials*, Perm, Russia.
26. Official site of the Perm government, URL: <http://www.gorodperm.ru/> (Accessed: 27.03.2018).
27. Perelman A.I. and Kasimov, N.S. (1999), *Geohimiya landshaftov* [Landscape geochemistry], Astreya-2000, Moscow, Russia.
28. Saet, Yu.E., Revich, B.A., Yanin, E.P, Smirnova, R.S., Basharkevich, I.L., Onishchenko, T.L., Pavlova, L.N., Trefilova, N.Ya., Achkasov, A.I. and Sarkisyan S.Sh. (1990), *Geohimiya*

*okruzhayushchej sredy* [Environmental Geochemistry], Nedra, Moscow, Russia.

29. Samonova O.A., Kosheleva, N.E., Kasimov, N.S. (1998), "Associations of microelements in the profile of soddy-podzolic soils in the southern taiga", *Vestnik Moskovskogo universiteta, seria 17* no. 2. pp. 14–19.

30. Ushkov B.K. (2000), *Karta chetvertichnyh otlozhenij Permskoj oblasti* [Map of the Quaternary deposits of the Perm Region], Perm, Russia.

31. Shestakov, I.E., Eremchenko, O.Z. and Filkin, T.G. (2014) "Mapping of the soil cover of urban areas by the example of Perm" *Eurasian Soil Science*. no. 1. pp. 12–21.

32. Charlesworth, S., Miguel, E.De and Ordonez, A. (2011), "A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk" *Environ. Geochem. Health*. V. 33. no. 2. pp. 103–123.

33. Demetriades, A. and Birke M. (2015), *Urban Geochemical Mapping Manual: Sampling, Sample preparation, Laboratory analysis, Quality control check, Statistical processing and Map plotting*, EuroGeoSurveys, Brussels, Belgium.

34. Gietl, J.K., Lawrence, R., Thorpe, A.J. and Harrison, R.M. (2010), "Identification of brake wear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a major road", *Atmos. Environ*, V. 44. no. 2. pp. 141–146.

35. Goldschmidt, V.M. (1930), "Geochemische Verteilungsgesetze und kosmische Haufigkeit der Elemente", *Naturwissenschaften*, V. 18, no. 47–49, pp. 999–1013.

36. Greenwood, N.N. and Earnshaw, A. (1997) *Chemistry of the Elements. Second Edition*, 2nd ed., University of Leeds, Leeds, UK.

37. Hu, Z. and Gao, S. (2008), "Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update", *Chemical Geology*, V. 253. no. 3-4. pp. 205-221.

38. Food and Agriculture Organization of the United Nations. IUSS Working Group WRB (2015), *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*, Rome, Italy.

39. Kabata-Pendias, A. (2011), *Trace Elements in Soils and Plants*. 4-th ed., CRC Press, Boca Raton, USA.

40. Kosheleva, N.E., Kasimov, N.S. and Timofeev, I.V. (2017) "Potentially toxic elements in urban soil catenas of W-Mo (Zakamensk, Russia) and Cu-Mo (Erdenet, Mongolia) mining areas" *J. Soils&Sediments*. DOI: 10.1007/s11368-017-1897-8.

41. Limbeck, A., and Puls, C. (2010), "Particulate Emissions from On-Road Vehicles", in Zereini F., Wiseman C.L.S. (ed), *Urban Airborne Particulate Matter*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Germany, pp. 63–79.

42. Pacyna, E.G., Pacyna, J.M., Fudala, J., Strzelecka-Jastrzab, E., Hlawiczka, S., Panasiuk, D., Nitter, S., Pregger, T., Pfeiffer, H. and Friedrich R. (2007), "Current and future emissions of selected heavy metals to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe", *Atmos. Environ*, Vol. 41, no. 38, pp. 8557–8566.

43. Rawls, W.J. and Pachepsky, Y.A. (2002), "Using Field Topographic Descriptors To Estimate Soil Water Retention", *Soil Sci*, Vol. 167, no. 7, pp. 423–435.

44. Rudnick, R.L. and Gao, S. (2003), "Composition of the continental crust", in *Treatise on geochemistry*, V. 3. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 1–64

45. Wedepohl, K.H. (1995), "The composition of the continental crust", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 59, no. 7. pp. 1217–1232.

Поступила в редакцию: 09.04.2019

**Сведения об авторах****Хайрулина Елена Александровна**

кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Естественнонаучного института, Пермский государственный национальный исследовательский университет;  
Россия, 614990 г. Пермь, ул. Генкеля, 4

e-mail: khayrulina@psu.ru

**Тимофеев Иван Вячеславович**

кандидат географических наук, научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;  
Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1

e-mail: vano-timofeev@yandex.ru

**Кошелева Наталья Евгеньевна**

доктор географических наук, профессор кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;  
Россия, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д.1

e-mail: natalk@mail.ru

**About the authors****Elena A. Khayrulina**

Candidate of Geographic Sciences, Leading Scientist, Natural Science Institute, Perm State University;  
4, Genkelya st., Perm, 614990, Russia

**Ivan V. Timofeev**

Candidate of Geographic Sciences, Researcher, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Lomonosov Moscow State University;  
1, Leninskie Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia

**Natalya E. Kosheleva**

Doctor of Geographic Sciences, Professor, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Lomonosov Moscow State University;  
1, Leninskie Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Хайрулина Е.А., Тимофеев И.В., Кошелева Н.Е.* Потенциально токсичные элементы в почвах Индустриального района г. Перми // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №2(49). С. 80-100. doi 10.17072/2079-7877-2019-2-80-100.

**Please cite this article in English as:**

*Khayrulina E.A., Timofeev I.V., Kosheleva N.E.* Potentially toxic elements in soils of the Industrial district in the city of Perm // Geographical bulletin. 2019. №2(49). P. 80–100. doi 10.17072/2079-7877-2019-2-80-100.