

С. В. Лебедев<sup>1</sup>, Е. К. Агафонова<sup>2</sup>

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВОГРУНТАХ И СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ (НА ПРИМЕРЕ ВАСИЛЕОСТРОВСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского

Российская Федерация, 199106, Санкт-Петербург, Средний проспект, 74

Рассмотрена методика оценки пространственной неоднородности распределения тяжёлых металлов в городских почвах в пределах площади отбора проб по методу «конверта». Выявлено, что в общем случае вариация распределения металлов в пределах стандартной площади «конверта» равна 30%. На основании измеренной вариации предложен «принцип минимизации возможных вредных последствий химического загрязнения почв». На примере распределения суммарного показателя загрязнения почв Zс в пределах Василеостровского района Санкт-Петербурга показано, что учёт погрешности пробоотбора почв по методу «конверта», связанной с природной неравномерностью распределения тяжёлых металлов по площади, может существенно повлиять на определение категории загрязнения почв. Распределения содержания тяжёлых металлов (Zn, Pb, Cu, Ni, Cr) в пробах почвогрунтов и снежного покрова асимметричны и имеют «правый хвост». По всей видимости, такой характер распределений металлов закономерен для городских территорий, когда в результате техногенной нагрузки возникают локальные участки с аномально высокими концентрациями поллютантов. Максимальный вклад в суммарный показатель загрязнения снежного покрова и почвогрунтов вносит Zn. Установлена высокая положительная корреляция (коэффициент более 0,7) между показателями загрязнения Zс в снежном покрове и в почвогрунтах, что может указывать на постоянство поступления этого поллютанта в компоненты окружающей среды. Наиболее заметная разница в характере загрязнения почвенного и снежного покрова была отмечена для Pb. Для почв концентрация Pb в значительной степени определяет суммарный показатель загрязнения. В 2017 г. содержание Pb в снеге находилось на уровне фонового. Это может свидетельствовать о том, что сезонное поступление Pb в систему атмосфера — снег — почва в последние годы снижается. Библиогр. 11 назв. Ил. 5. Табл. 3.

*Ключевые слова:* тяжёлые металлы, городские почвы, метод конверта, снежный покров.

S. V. Lebedev<sup>1</sup>, E. K. Agafonova<sup>2</sup>

## ECOGEOCHEMICAL ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY MONITORING DATA OF HEAVY METALS CONTAMINATION IN SOIL AND SNOW COVER (AT THE EXAMPLE OF VASILEOSTROVSKY DISTRICT OF SAINT PETERSBURG)

<sup>1</sup> St Petersburg State University,

7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

<sup>2</sup> A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute

74, Sredniy prospect, St. Petersburg, 199106, Russian Federation

An ecogeochemical assessment of the state of the environment of the Vasileostrovsky district of St. Petersburg based on the monitoring of the content of heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni) in snow cover and soil was carried out. It was established that in soils the average concentration coefficient of the elements under study decreases in the series Zn > Cu > Pb > Cr > Ni. Authors considers the method of estimating the spatial heterogeneity of distribution of heavy metals in urban soils within the area of the “envelope” sampling method. It was revealed that, in general, the variation within the standard “envelope” area is equal to 30%. Authors proposed a “principle of minimizing the possible harmful

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2017

effects of chemical contamination of soils” based on the measured value variations. For example, the distribution of total index of soil contamination within the Vasileostrovsky district of St. Petersburg shows that the accounting errors of sampling soil using the “envelope” sampling method associated with natural uneven areal distribution of heavy metals, can significantly affect the definition of the category of soil contamination. The difference between soil and soil contamination in the northern, central and western parts of the Vasilevsky island became more clearly visible — the latter turned out to be less contaminated. It was established that zinc determines the total snow cover contamination index, as well as in the case of soil. However, the series of concentration decrease looks different:  $Zn > Ni > Cu > Cr > Pb$ . A high positive correlation was found between the coefficients of zinc concentration in the snow cover and soil, which may indicate a constant supply of this pollutant to the components of the environment. A similar pattern was noticed for the total pollution index. The most noticeable difference was noted in the contamination of soil and snow cover by lead. For soils lead concentration determines the total pollution index. In snow lead content is at the background level. This may indicate that at present the intake of lead into the atmosphere is noticeably lower than 10 years ago. Refs 11. Figs 5. Tables 3.

*Keywords:* heavy metals, urban soils, snow cover.

## Введение

Наибольшее внимание при эколого-геохимических съемках обычно уделяется *тяжёлым металлам*. Это обусловлено широким распространением и индикационным значением данного вида загрязнения, а также наличием хорошо отработанных и достаточно дешевых аналитических методов (преимущественно спектральных) определения содержания этих веществ в средах.

В качестве объекта исследования чаще всего выбирают почвогрунты. Эта депонирующая среда характеризует загрязнение городской территории за весь период антропогенного воздействия. Для определения сезонного загрязнения территорий северных городов, к каковым относится Санкт-Петербург, удобно использовать снег. В этом случае данные мониторинга можно дифференцировать по годам и оценить динамику поступления поллютантов в окружающую среду.

Исследования загрязнения депонирующих сред тяжёлыми металлами на территории Санкт-Петербурга проводятся давно. С 1991 по 2007 г. Региональный геоэкологический центр (РГЭЦ ФГУП «Урангео») по заказу Администрации Санкт-Петербурга систематически отбирал пробы городских почв. В результате этого на площади около 830 км<sup>2</sup>, включающей основные жилые районы города, промышленные зоны и зоны перспективной застройки, обследовано загрязнение почв тяжёлыми металлами по сети квадратов 200 × 200 м.

С результатами оценки состояния почвогрунтов Санкт-Петербурга и мероприятиями по их рекультивации можно ознакомиться в ежегодных аналитических обзорах «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге», издаваемых Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга (Охрана окружающей среды..., 2006–2010). Известны также результаты эколого-геохимической съемки отдельных административных районов города, проведенных в СПбГУ и РГПУ им. А. И. Герцена (Zarina et al., 2011; Нестеров и др., 2015; Лебедев и др., 2015). Однако нигде не обсуждается вопрос погрешности опробования, связанной с естественной неравномерностью распределения тяжёлых металлов в почвогрунтах.

В статье рассмотрены результаты оценки пространственной неоднородности распределения тяжёлых металлов в городских почвах в пределах площади отбора проб по методу «конверта» — площадки размером 20–25 м<sup>2</sup>. Такая оценка позволяет определить погрешность отбора проб городских почвогрунтов и внести поправки в значения нормативных границ категорий опасности загрязнения в сторону их снижения. Нами также рассмотрены некоторые статистические характеристики распределений Zn, Pb, Cu, Ni, Cr в почвогрунтах и снежном покрове. Проведено сравнение характера загрязнения двух депонирующих сред, позволяющее установить стабильность и вариативность поступления поллютантов в окружающую среду.

### Материалы и методы

Многочисленные исследования показывают, что основными источниками поступления тяжёлых металлов в окружающую среду являются предприятия теплоэнергетики и металлургической промышленности, мусоросжигательные заводы, а также автомобильный транспорт (Снежко, Шевченко, 2011). Для Василеостровского района Санкт-Петербурга наиболее вероятными источниками поступления исследуемых тяжёлых металлов могут быть Василеостровская ТЭЦ, автомобильный транспорт и дорожные покрытия.

В 2015–2016 гг. нами отобраны пробы почвогрунтов на территории Василеостровского района Санкт-Петербурга. Отбор проводили в соответствии с масштабом съёмки 1:70 000, из расчёта — одна проба на 0,5 км<sup>2</sup>.

Отбор проб на тяжёлые металлы проводился с площадок размером 20–25 м<sup>2</sup> по методу «конверта» — каждая проба должна была состоять из кусочков грунта, отобранных из верхнего 10-сантиметрового слоя почвы по углам и в центре одной площадки приблизительно квадратной формы. Площадки были расположены в таких местах, где состав и структура почвенного покрова достаточно долго не подвергались искусственному изменению (например, в результате подсыпания свежих грунтов на газоны или территории скверов).

В соответствии с требованиями норматива (ГОСТ 17.4.4.02—84, 1984) из взятых проб путем перемешивания и квартования следует составлять сборную пробу массой не менее 500 г, которую затем помещают в полиэтиленовый пакет и маркируют.

Мы изменили технику пробоотбора с целью оценить неоднородность распределение тяжёлых металлов в пределах площади «конверта». Для этого единичные пробы массой не менее 500 г в каждой точке опробования *не* смешивали, а упаковывали и маркировали отдельно. Таким образом, каждая точка опробования была представлена пятью пробами «конверта». Всего было отобрано 115 единичных проб в 23 точках наблюдения.

Содержание тяжёлых металлов (Pb, Zn, Cu, Ni, Cr) определялось рентгенофлуоресцентным методом на анализаторе AP-104.

В 2017 г. были отобраны пробы снежного покрова на территории Василеостровского района в тех же точках наблюдений, в которых, как уже упоминалось, в 2015 и 2016 гг. мы также отбирали пробы почвогрунтов. Отбор проводили в соответствии с (ГОСТ 17.1.5.05—85, 1985) из расчёта — одна проба на 0,5 км<sup>2</sup>. Про-

бы отбирали в начале марта по методу «конверта» с площадок размером 20–25 м<sup>2</sup>. Опробованию подлежала полная колонка накопившегося за зиму снега. Поскольку работы проводили в начале периода снеготаяния, снег был уплотнен, и высота полной колонки в среднем составляла 10–15 см.

Анализ содержания исследуемых элементов в пробах снежного покрова проводился на ИСП-ОЭС-спектрометре<sup>1</sup> Shimadzu ICPE-9000. В результате были получены концентрации тяжёлых металлов (Zn, Pb, Cr, Cu и Ni) в 23 точках наблюдений на территории Василеостровского района.

### Результаты и их обсуждение

По результатам проведённых измерений были рассчитаны коэффициенты концентрации исследуемых элементов (Кс) и суммарный показатель загрязнения почвогрунтов (Zс) в единичных пробах по формулам Санитарно-эпидемиологических требований к качеству почвы (СанПиН 2.1.7.1287—03, 2003). В качестве нормативных были приняты значения фоновой выборки по почвам Санкт-Петербурга в соответствии с Правилами охраны почв в Санкт-Петербурге (Правила охраны почв..., 2006).

На первом этапе анализа результатов отбора проб мы для каждой точки наблюдения использовали усредненные по пяти отдельным пробам значения исследуемых параметров, т.е. фактически моделировали перемешивание единичных проб «конверта». Распределения коэффициентов концентрации были получены в программе Statistica 10 и визуализированы при помощи гистограмм частотного распределения типа «ящик с усами» (рис. 1). В табл. 1 показаны числовые значения основных характеристик выборки.

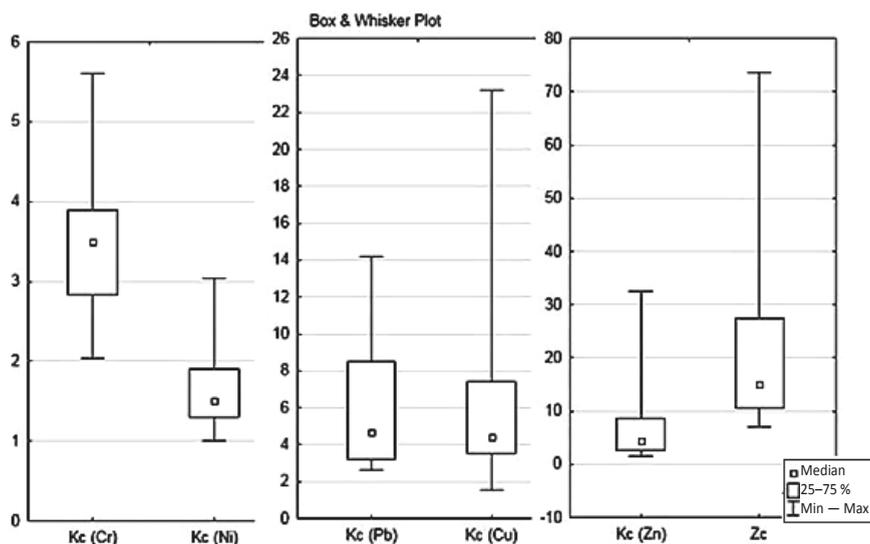


Рис. 1. Статистические характеристики распределения элементов в почвогрунтах. Здесь и на рис. 4: Кс — коэффициент концентрации элементов

<sup>1</sup> ИСП-ОЭС — оптическая эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

Таблица 1. Основные показатели выборки для коэффициентов концентрации исследуемых элементов и суммарного показателя загрязнения Zc в пробах почвогрунтов

Элемент	Медиана	Среднее	Минимум	Максимум
Zn	4,5	7,4	1,6	32,5
Cu	4,4	6,5	1,6	23,2
Pb	4,7	5,7	2,6	14,2
Cr	3,5	3,5	2,0	5,6
Ni	1,5	1,7	1,0	3,0
Zc	14,9	20,7	7,1	73,6

Анализ статистических показателей (сравнение среднего и медианы, асимметрия, эксцесс) показывает, что ни одно из распределений не является нормальным или логарифмически нормальным. Распределения каждого из исследуемых металлов имеют положительную асимметрию и «правый хвост», который можно наблюдать на гистограммах частотного распределения (см. рис. 1).

Максимальный вклад в загрязнение почвогрунтов вносит Zn, коэффициент концентрации которого в отдельных точках наблюдения достигает 32,5. Такой результат хорошо согласуется с данными аналитических обзоров Комитета по природопользованию, охраны окружающей среды и обеспечению экологической безопасности (Охрана окружающей среды..., 2006–2010). Средний коэффициент концентрации исследуемых элементов в почвогрунтах снижается в ряду  $Zn > Cu > Pb > Cr > Ni$  ( $7,4 > 6,5 > 5,7 > 3,5 > 1,7$ ).

Полученные значения суммарного показателя загрязнения Zc были разделены на три класса со следующими границами:

- 1) менее 16,0 включительно;
- 2) 16,01–32,0;
- 3) более 32,01.

Выбор интервалов был сделан исходя из требований СанПиН 2.1.7.1287—03.

По обработанным в среде ArcGIS данным исследований территориального распределения поллютантов были построены карты в зональной проекции Гаусса — Крюгера с центральным меридианом 30. Чтобы отобразить параметр по данным мониторинга, был выбран способ значков (Лебедев, Нестеров, 2012).

На рис. 2 приведена карта категорий опасности почвогрунтов в точках наблюдений. В пределах полигона «Васильевский остров» максимальное значение суммарного показателя загрязнения Zc достигает 73,6 (Уральская ул.), его минимальное значение равно 7,1 (Новосмоленская наб.). Как видно из рис. 2, наиболее загрязнены северная, северо-восточная и центральная части Васильевского острова. Однако почвы, относящиеся к опасной категории, были обнаружены лишь в четырёх точках из всех исследованных (по одной — на улицах Нахимова и Одоевского, две точки — на Уральской), а большая часть почв Василеостровского района относится к умеренно опасной категории.

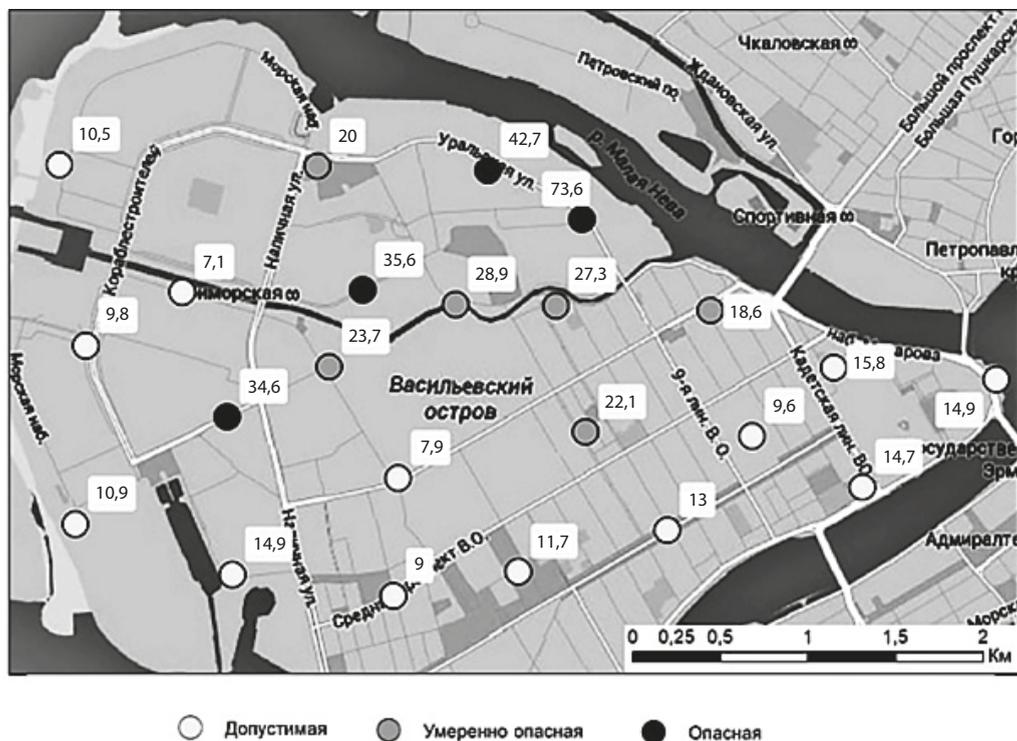


Рис. 2. Карта категорий опасности загрязнения почвогрунтов. Здесь и на рис. 3 и 5: у точек отбора проб показаны значения показателя Zc

Такие выводы о характере загрязнения почвогрунтов на контролируемой территории можно сделать, исходя из стандартного подхода к методике пробоотбора и сравнения экспериментальных данных с нормативными границами классов опасности исследуемых депонирующих сред. Нами впервые проведена экспериментальная оценка неравномерности распределения поллютантов (тяжёлых металлов) в пределах площади «конверта». Такая оценка призвана определить погрешность пробоотбора почвогрунтов городских территорий и учесть ее при сравнении данных анализа проб с нормативными показателями.

Для оценки погрешности пробоотбора по методу «конверта» были рассчитаны (в процентах) коэффициенты вариации измеряемых параметров по пяти значениям в единичных пробах «конверта» для каждой точки опробования. Средние значения коэффициентов вариации для тяжёлых металлов — Zn, Pb, Cu, Cr и Ni — составили соответственно 34, 28, 32, 31 и 28 %, для коэффициента Zc — 29 %.

Таким образом, среднее значение относительной погрешности пробоотбора для разных элементов находится в границах 25–35 % без какой-либо значимой корреляции между погрешностью для разных элементов. Это говорит о том, что мы имеем дело с естественной (природной или техногенной) неравномерностью распределения содержания тяжёлых металлов в почвах городских территорий. В общем случае значение такой вариации в пределах стандартной площади «конверта» 20–25 м<sup>2</sup> можно принять равной 30 %.

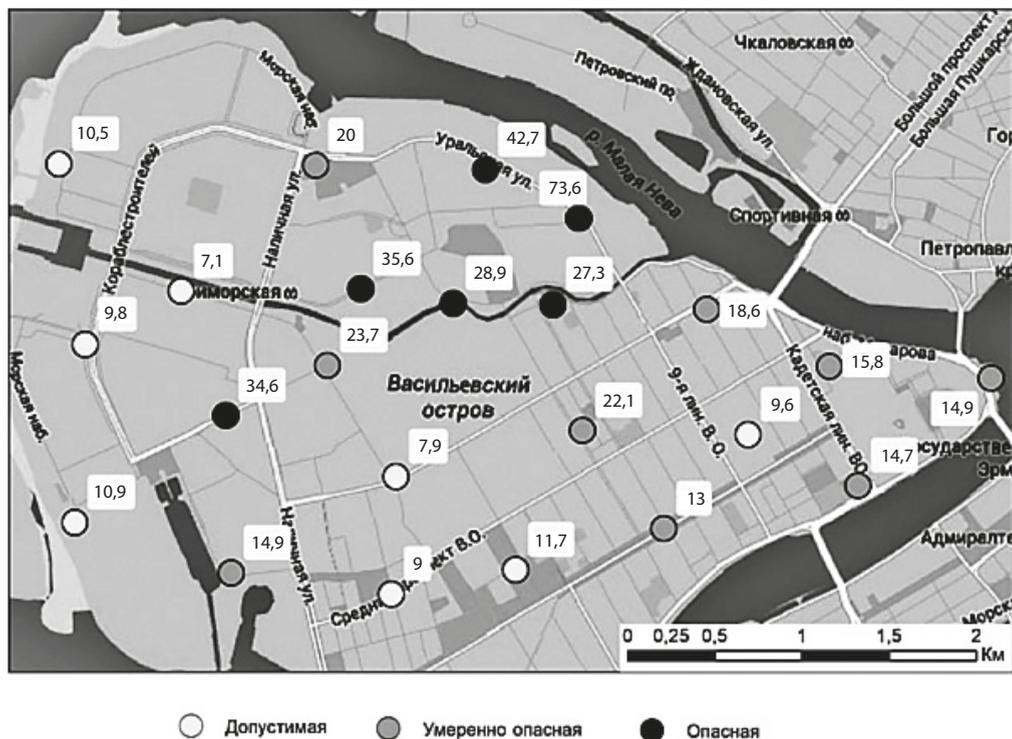


Рис. 3. Карта категорий опасности загрязнения почвогрунтов с учётом погрешности пробоотбора

Исходя из принципа «минимизации возможных вредных последствий» химического загрязнения почв, мы внесли коррективы в нормативные границы категорий опасности в сторону уменьшения их значений. Суть новых границ состоит в том, чтобы измеряемый параметр (в данном случае  $Z_c$ ) с учётом установленной нами экспериментально погрешности пробоотбора по методу «конверта» с доверительной вероятностью 95% не смог бы превзойти установленные нормативами значения. В табл. 2. показаны нормативные и рассчитанные нами границы интервалов, определяющих категорию опасности химического загрязнения почв по  $Z_c$ .

Таблица 2. Границы категорий опасности почвогрунтов с учётом и без учёта погрешности пробоотбора

Категория опасности	Граница $Z_c$	
	нормативная	с учётом погрешности
Допустимая	16	12,3
Умеренно опасная	32	24,6
Опасная	128	98,5
Чрезвычайно опасная	Более 128	Более 98,5

В среде ArcGIS 10 была составлена карта категорий опасности загрязнения почвогрунтов Василеостровского района с установленными нами границами классов опасности (рис. 3). Показатель  $Z_c$  в усредненных пробах, естественно, остался таким же, что и раньше, но изменились границы классов опасности.

При стандартных границах 13 проб соответствовали категории «допустимая», 6 — категории «умеренно опасная» и 4 пробы можно было отнести к категории «опасная» (см. рис. 2). После коррекции границ интервалов в сторону их уменьшения уже 6 проб в центре исследуемого полигона стали относиться к «опасной» категории загрязнения, 9 проб соответствовали категории «умеренно опасная» и меньше всего (8 проб) можно было отнести к категории «допустимая». При этом более отчетливо проявилась разница между загрязнением почвогрунтов в северо-восточной и юго-западной частях Васильевского острова — последняя оказалась в целом более чистой.

Таким образом, учёт погрешности пробоотбора почв по методу «конверта», связанной с природной неравномерностью распределения тяжёлых металлов по площади, может существенно повлиять на определение категории загрязнения почвогрунтов и конфигурацию разделения территорий на категории.

По результатам измерения содержаний тяжёлых металлов в снеге были рассчитаны коэффициенты концентраций  $K_c$  исследуемых элементов в каждой точке и суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ . В качестве фоновых были взяты следующие значения концентрации металлов:  $Pb = 0,009$ ,  $Zn = 0,013$ ,  $Cu = 0,015$ ,  $Ni = 0,002$ ,  $Cr = 0,006$  мг/кг (Нестеров Е. М. и др., 2015). Распределения полученных коэффициентов концентрации были визуализированы при помощи диаграмм «ящик с усами», построенных в пакете Statistica 10 (рис. 4). Основные статистические характеристики для коэффициентов концентраций исследуемых металлов в снежном покрове и суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  приведены в табл. 3.

Анализ статистических показателей (сравнение среднего и медианы, асимметрия, эксцесс) показывает, что ни одно из распределений не является нормальным или логарифмически нормальным. Распределение каждого из исследуемых металлов имеет положительную асимметрию и «правый хвост», который можно наблюдать на гистограммах частотного распределения типа «ящик с усами».

Коэффициент концентрации исследуемых элементов в снеге снижался в ряду  $Zn > Ni > Cu > Cr > Pb$  (соответственно  $12,3 > 2,9 > 2,3 > 0,6 > 0,3$ ).

Максимальные коэффициенты концентрации  $Zn$  достигли 49,8 (ул. Уральская), а в среднем по выборке составили 12,3.

Следующими по степени влияния на загрязнение снежного покрова идут  $Ni$  ( $Zn = 2,9$ ) и  $Cu$  ( $Zn = 2,3$ ). Коэффициенты концентрации  $Cr$  и  $Pb$  минимальны, их средние значения не превышают фон. Таким образом, реальный вклад в суммарный показатель загрязнения снега вносят  $Zn$ ,  $Ni$ ,  $Cu$ .

Полученные значения суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  были разделены на два класса со следующими границами:

- 1) не более 32,
- 2) более 32.

Выбор интервалов был сделан исходя из требований Методических рекомендаций по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов ме-

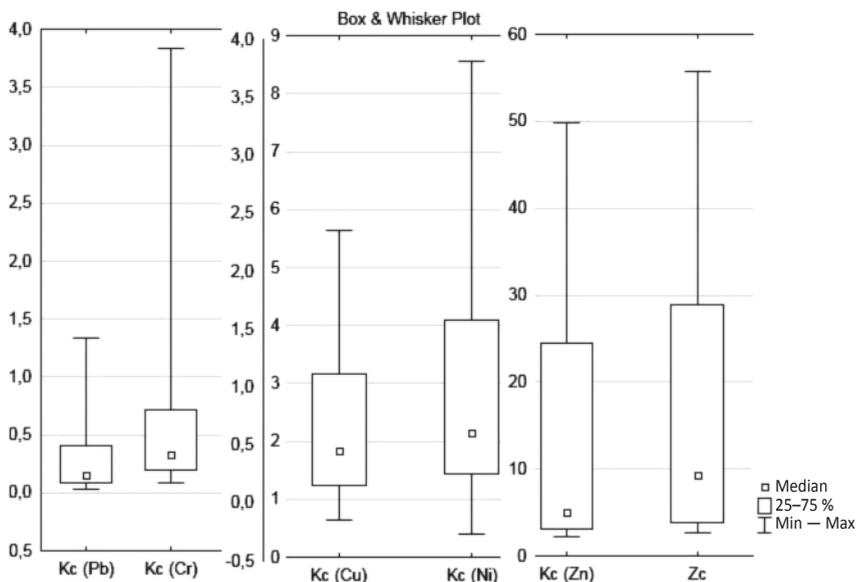


Рис. 4. Статистические характеристики распределения элементов в снежном покрове

Таблица 3. Основные показатели выборки для коэффициентов концентраций исследуемых элементов в пробах снега

Элемент	Медиана	Среднее	Минимум	Максимум
Zn	5,1	12,3	2,2	49,8
Ni	2,2	2,9	0,4	8,6
Cu	1,8	2,3	0,7	5,6
Cr	0,3	0,6	0,08	3,8
Pb	0,2	0,3	0,03	1,3
Zc	9,3	15,7	2,7	55,8

таллами по их содержанию в снежном покрове и почве (Методические рекомендации... 1990).

Как уже отмечено, по обработанным в среде ArcGIS данным исследований распределения тяжёлых металлов по территории Василеостровского района были построены карты в зональной проекции Гаусса — Крюгера. Чтобы изобразить данные наблюдений за содержанием исследуемых металлов в снежном покрове и при этом учесть густоту точек наблюдения и общее их число, мы выбрали интерполяцию по методу обратно взвешенных расстояний. Этот метод предполагает, что влияние значения измеренной переменной убывает по мере увеличения расстояния от точки замера.

На рис. 5 показана карта категорий опасности загрязнения снежного покрова Василеостровского района.



загрязнения Zc. Этот факт может быть связан с тем, что Zn является элементом, определяющим значение показателя Zc и для случая почвогрунтов, и для случая снега.

Сравнение показало, что для почвогрунтов средний коэффициент концентрации снижался в ряду

$$\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni},$$

в то время как для снежного покрова ряд снижений коэффициентов концентрации был совершенно иным:

$$\text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Pb}.$$

Наиболее заметна разница в характере загрязнения почвенного и снежного покрова для Pb. Для почв концентрация Pb в значительной степени определяет суммарный показатель загрязнения. В снеге содержание Pb находится на уровне фонового. Это может свидетельствовать о том, что в настоящее время поступление Pb в атмосферу стало заметно ниже, чем несколько лет назад.

### Выводы

1. Проведенная впервые оценка пространственной неоднородности распределения тяжёлых металлов в городских почвах показала, что в общем случае вариация содержания Zn, Pb, Cu, Ni и Cr в пределах стандартной площади «конверта» 20–25 м<sup>2</sup> равна 30%.

2. Исходя из принципа «минимизации возможных вредных последствий» химического загрязнения почв, предложено вносить коррективы в нормативные границы категорий опасности в сторону уменьшения их значений. Нормативные границы категорий опасности:

16, 32, 128.

Скорректированные границы соответственно:

12,3; 24,6; 98,5.

3. На примере распределения суммарного показателя загрязнения почв Zc в пределах Василеостровского района Санкт-Петербурга показано, что учёт погрешности пробоотбора почв по методу «конверта», связанной с природной неравномерностью распределения тяжёлых металлов по площади, может существенно повлиять на определение категории загрязнения почв.

4. Распределения содержания тяжёлых металлов (Zn, Pb, Cu, Ni и Cr) в пробах почвогрунтов и снежного покрова асимметричны и имеют «правый хвост». По всей видимости, такой характер распределения металлов, не являющегося нормальным, закономерен для городских территорий, когда в результате техногенной нагрузки возникают локальные участки с аномально высокими концентрациями поллютантов.

5. Сравнение результатов определения содержания тяжёлых металлов и суммарного показателя загрязнения Zc в снежном покрове и почвогрунтах показало следующее:

— для случая почвогрунтов средний коэффициент концентрации снижался в ряду

Pb > Zn > Cu > Cr > Ni,

— для случая снежного покрова ряд снижения коэффициентов концентрации совершенно иной:

Zn > Ni > Cu > Cr > Pb.

6. Выявлена высокая положительная корреляция (с коэффициентом больше 0,7) между показателями загрязнения Zn в снежном покрове и почвогрунтах, что может указывать на постоянство поступления этого элемента в компоненты природной среды. Аналогичная закономерность характерна для суммарного показателя загрязнения Zc. Этот факт можно объяснить тем, что содержанием Zn определяется значение показателя Zc и для случая почвогрунтов, и для случая снега.

7. Более всего различается характер загрязнения почв и снега свинцом. Для почв содержанием Pb в значительной степени определяется суммарный показатель загрязнения. В снеге содержание Pb находится на уровне фонового. Это может свидетельствовать о том, что в настоящее время поступление Pb в атмосферу заметно ниже, чем несколько лет назад, а также подчёркивает тот факт, что снег, являясь депонирующей средой, отражает лишь сезонное загрязнение, в то время как почвенный покров накапливает поллютанты постоянно в течение всего времени своего существования.

#### Литература

- ГОСТ 17.1.5.05—85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков, 1985. Издательство стандартов, Москва, 12.
- ГОСТ 17.4.4.02—84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа, 1984. Издательство стандартов, Москва, 7.
- Лебедев, С. В., Кулькова, М. А., Нестеров, Е. М., Зарина, Л. М., 2015. Экологическая оценка окружающей среды Санкт-Петербурга по данным мониторинга содержания долгоживущих радионуклидов ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) и тяжёлых металлов в снежном покрове. Вода и экология: проблемы и решения 1 (61), 63–80.
- Лебедев, С. В., Нестеров, Е. М., 2012. Цифровая модель геоэкологической карты в ГИС ArcGis: Учебник. Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, 367.
- Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве № 5174-90, 1990. ИМГРЭ, Москва, 7.
- Нестеров, Е. М., Зарина, Л. М., Синай, М. Ю., 2015. Учебно-методическое пособие по проведению исследований состояния окружающей среды. Изд. РГПУ им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, 80.
- Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге, 2006–2010. Голубев, Д. А., Сорокин, Н. Д. (под ред.). Изд. ООО «Сезам-Принт», Санкт-Петербург.
- Правила охраны почв в Санкт-Петербурге (вторая редакция), 2006. Изд. Российского геоэкологического центра — филиала ФГУП «Урангео», Санкт-Петербург, 45.
- СанПиН 2.1.7.1287—03, 2003. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы (с изм. от 2010 г.). Изд. Минздрава РФ, Москва, 16.
- Снежко, С. И., Шевченко, О. Г., 2011. Источники поступления тяжёлых металлов в атмосферу. Учёные записки РГМУ 18, 35–37.
- Zarina, L., Lebedev, S., Nesterov, E., 2011. Ecological Geochemical Investigations of the Contents of Heavy Metals in the Snow Cover in the Saint-Petersburg Region with Application of GIS Technologies. International Journal of Chemical Engineering and Applications (IJCEA) 2, 2, 117–120.

**Для цитирования:** Лебедев С. В., Агафонова Е. К. Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды по данным мониторинга содержания тяжёлых металлов в почвогрунтах и снежном

## References

- GOST 17.4.4.02—84. Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlia khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [Protection of nature. Soil. Methods of selection and preparation of soils for chemical, bacteriological, helminthological analysis], 1984. Standards Publishing House, 7. (in Russian)
- GOST 17.1.5.05—85. Obshchie trebovaniia k otboru prob poverkhnostnykh i morskikh vod, l'da i atmosferynykh osadkov [Nature protection. Hydrosphere. General requirements for surface and sea waters, ice and atmosphere precipitation sampling], 1985. Standards Publishing House, 12. (in Russian)
- Lebedev, S. V., Kul'kova, M. A., Nesterov, E. M., Zarina, L. M. 2015. Ekologicheskaiia otsenka okruzhayushchei sredy Sankt-Peterburga po dannym monitoringa sodержaniia dolgozhivushchikh radionuklidov ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) i tyazhelykh metallov v snezhnom pokrove [Environmental assessment of the environment of St. Petersburg based on monitoring of the content of long-lived radionuclides ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) and heavy metals in the snow cover]. Voda i ekologiya: problemy i resheniia [Water and ecology: problems and solutions]. 1 (61), 63–80. (in Russian)
- Lebedev, S. V., Nesterov, E. M., 2012. Tsifrovaia model' geokologicheskoi karty v GIS ArcGis: Uchebnik [Digital model of the geoecological map in the GIS ArcGis: Textbook]. Izdatel'stvo RGPU im. A. I. Gertsena, St. Petersburg, 367. (in Russian)
- Metodicheskie rekomendatsii po otsenke stepeni zagryazneniia atmosfernogo vozdukha naselennykh punktov metallami po ikh sodержaniuu v snezhnom pokrove i pochve No. 5174—90 [Methodological recommendations for assessing the degree of atmospheric air pollution in populated areas with metals by their content in the snow cover and soil No. 5174—90], 1990. IMGRE, Moscow, 7. (in Russian)
- Okhrana okruzhayushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge [Environmental protection, nature management and environmental security in St. Petersburg], 2006–2010. Golubev, D. A., Sorokin, N. D. (Eds.), St. Petersburg. (in Russian)
- Pravila okhrany pochv v Sankt-Peterburge (Vtoraya redaktsiia) [Rules for Soil Protection in St. Petersburg (Second Edition)], 2006. Isd. Rossiiskogo geokologicheskogo tsentra — filiala FGUGP "Urango", St. Petersburg. (in Russian)
- Nesterov, E. M., Zarina, L. M., Sinay, M. Yu., 2015. Uchebno-metodicheskoe posobie po provedeniiu issledovaniia sostoyaniia okruzhayushchei sredy [Educational and methodological manual for environmental studies]. Izd. RGPU im. A. I. Gertsena, St. Petersburg, 80. (in Russian)
- SanPiN 2.1.7.1287—03.2003. Sanitarno-epidemiologicheskiiye trebovaniia k kachestvu pochvy (s izm. ot 2010 g.) [Sanitary and epidemiological requirements to soil quality. (with changes from 2010)], 2003. Izd. Minzdrava RF, 16. (in Russian)
- Snezhko, S. I., Shevchenko, O. G. 2011. Istochnniki postupleniia tyazhelykh metallov v atmosferu [Sources of heavy metals entering the atmosphere]. Uchenye zapiski RGGMU [Scientific notes of the RSHU] 18, 35–37. (in Russian)
- Zarina, L., Lebedev, S., Nesterov, E. 2011. Ecological Geochemical Investigations of the Contents of Heavy Metals in the Snow Cover in the Saint-Petersburg Region with Application of GIS Technologies. International Journal of Chemical Engineering and Applications (IJCEA) 2, 2, 117–120.

**For citation:** Lebedev S. V., Agafonova E. K. Ecogeochemical estimation of environmental pollution by monitoring data of heavy metals contamination in soil and snow cover (at the example of Vasileostrovsky district of Saint Petersburg). Vestnik SPbSU. Earth Sciences, 2017, vol. 62, issue 4, pp. 357–369. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu07.2017.403>

Статья поступила в редакцию 28 июля 2017  
Статья рекомендована в печать 5 декабря 2017

### Контактная информация:

*Лебедев Сергей Васильевич* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент;  
[sergey-lebedev1950@yandex.ru](mailto:sergey-lebedev1950@yandex.ru)

*Агафонова Елизавета Константиновна* — геолог 2-й категории; [E\\_Agafonova@vsegei.ru](mailto:E_Agafonova@vsegei.ru)

*Lebedev Sergey Vasilievich* — Ph. D. (Geol.-Mineral.), Assoc. Prof.; [sergey-lebedev1950@yandex.ru](mailto:sergey-lebedev1950@yandex.ru)  
*Agafonova Elizaveta Konstantinovna* — geologist (second category); [E\\_Agafonova@vsegei.ru](mailto:E_Agafonova@vsegei.ru)