

**Всероссийская научная интернет-конференция  
с международным участием,  
посвященная 90-летию со дня рождения  
заслуженного профессора Е.А. Дмитриева**

**ПРИРОДНАЯ И АНТРОПОГЕННАЯ  
НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВ  
И СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ**

**Сборник научных статей**

Под общей редакцией  
д.б.н. В.П. Самсоновой,  
к.б.н. М.И. Кондрашкиной,  
к.с.-х.н. Ю.Л. Мешалкиной

Москва  
Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°»  
2022

УДК 631.4  
ББК 26.31  
П77

*Печатается по постановлению ученого совета факультета почвоведения  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
(протокол 16 от 23 декабря 2021 г.).*

П77 Природная и антропогенная неоднородность почв и статистические методы ее изучения : сборник научных статей по материалам Всероссийской научной интернет-конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного профессора Е.А. Дмитриева / под общ. ред. В.П. Самсоновой, М.И. Кондрашкиной, Ю.Л. Мешалкиной ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2022. – 248 с.

ISBN 978-5-394-05059-6.

DOI 10.29030/978-5-394-05059-6-2022.

Евгений Анатольевич Дмитриев вошел в историю российского почвоведения как ученый, многие работы которого посвящены применению статистических методов для исследования почв. Созданный им учебник «Математическая статистика в почвоведении» выдержал пять переизданий и не потерял своей актуальности в настоящее время. Теоретические работы Е.А. Дмитриева посвящены исследованиям генезиса данных о почве и почвенном покрове. Случайное и закономерное в приложении к почвенному покрову, проблемы адекватной организации почвенного эксперимента, предметная обоснованность статистических выводов, математика и классификация почв – вот далеко не полный перечень проблем, охватываемых в его исследованиях.

На Всероссийской научной интернет-конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного профессора Е.А. Дмитриева были представлены разнообразные работы, в которых используются идеи Е.А. Дмитриева.

Для специалистов в области почвоведения и экологии.

УДК: 504.054; 528.063.9

## АНАЛИЗ ПАРАГЕННЫХ АССОЦИАЦИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ Г. МИНСКА

*Карпиченко Александр Александрович,  
Кухлевский Егор Александрович*

Белорусский государственный университет, факультет географии  
и геоинформатики, Минск, Беларусь  
E-mail: kuhljevskiegor@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрена специфика и основные статистические показатели накопления тяжелых металлов в почвах города Минска. Выделены техногенная и литогенная ассоциации элементов методом главных компонент. Рассмотрены вероятные причины накопления элементов.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, техногенез, почвы, Минск, Беларусь.

**Введение.** Для понимания специфики техногенных процессов, происходящих в окружающей среде, широко применяются многомерные методы анализа. В геохимии техногенеза широкое распространение получил метод главных компонент. Он позволяет выделить ассоциации парагенных элементов и тем самым объясняет причинно-следственные связи их накопления. С этими целями сотрудниками научно-исследовательской лабораторией экологии ландшафтов Белорусского государственного университета был проведен выборочный отбор проб почв и грунтов на территории города при участии авторов. Анализ валового содержания тяжелых металлов (Cr, Mn, Ni, Pb и Cu) производился эмиссионно-спектральным методом.

**Объекты и методы.** Объектом исследования являются особенности распределение тяжелых металлов в почвенно-грунтовой покрове города. Для установления существующих парагенных ассоциаций данных металлов был применен метод главных компонент. Как значимые рассматривались два фактора, выделенные по критерию Кайзера (с собственным значением, превышающим 1). Для удобства интерпретации данных было применено ортогональное вращение матрицы факторных нагрузок методом Varimax, которое минимизирует число переменных с высокими нагрузками на каждый фактор. В результате были получены значения факторных нагрузок химических элементов, на основании которых они объединялись в ассоциации и далее анализировались на предмет совместного накопления в результате определённого процесса.

**Результаты и обсуждение.** Статистические характеристики приведены в табл. 1. Можно видеть, что для меди и свинца характерно аномальное и близкое к нему варьирование, что может указывать на явно техногенное накопление [4]. Распределение остальных металлов, очевидно, более сложно и происходит под действием комплекса факторов. Для всех элементов характерно накопление относительно фонового содержания в почвах республики [2], в то время как превышение ПДК [3] установлено только для Cu, Pb и Ni. Максимальные содержания связаны с центральными и промышленными частями города, а минимальные – с территорией бывшего военного полигона на юго-востоке Минска.

Таблица 1. Основные статистические параметры распределения тяжелых металлов в почвах г. Минска, мг/кг

	<b>Cu (n = 52)</b>	<b>Pb (n = 52)</b>	<b>Ni (n = 52)</b>	<b>Mn (n = 40)</b>	<b>Cr (n = 52)</b>
Min	3	3,26	1,3	65,4	4,87
Max	75,3	68,23	28	492,4	51,88
Среднее	12,36	17,00	10,15	278,67	23,35
Медиана	9,57	10	9,6	286,5	23,1
V, %	105,21	94,07	65,76	43,28	51,2
Процент проб выше фона	28,85	49,02	5,77	57,50	15,38
Процент проб выше ПДК	3,85	13,73	5,77	-	-

Для фактора 1 характерна литогенная ассоциация Cr-Mn (рис. 1). Хром оказывает наибольшую нагрузку на данный фактор (0,93), а марганец, в свою очередь, 0,89. Содержание данных элементов, в большинстве своём, определяется региональными литохимическими особенностями содержанием металлов в почвообразующих породах, что подтверждается коэффициентами вариации (Cr – 51,2%; Mn – 43,28%) и фоновыми значениями концентраций. Высокий размах варьирования объясняется неоднородностью гранулометрического состава почвообразующих пород. Накопление Mn также отражает геохимическую специфику территории. Исходя из выше сказанного, можно предполагать, что фактор 1 отражает литохимические особенности почвообразующих пород, когда повышенные содержания отмечаются для суглинистых моренных и лессовидных почв.

Для фактора 2, вносящего заметно меньший вклад в общую дисперсию (21%), характерна ассоциация элементов Ni-Pb-Cu (см. рис. 1). Данная парагенная ассоциация, вероятно, сформировалась преимущественно под действием техногенеза, что подтверждается исходя из характера варьирования и тенденции к накоплению (см.

табл. 1). Медь оказывает наибольшую нагрузку на данный фактор (0,95), свинец – 0,8, а никель – 0,7. Соответственно, накопление Cu-Pb в большей степени определяется техногенезом, что подтверждается аномальным и очень высоким варьированием (см. табл. 1), а для Ni в меньшей, исходя из факторной нагрузки и характера распределения. Исходя из этого можно говорить об комплексном влиянии факторов на особенности его накопления. Наибольшее накопление Ni характерно для суглинистых почв, что может указывать на вероятный механизм накопления (абсорбцию металлов глинистыми минералами [5]). Исходя из того, что данные элементы распределены крайне неравномерно, с явными максимумами накопления вблизи объектов, являющихся источниками техногенной эмиссии тяжелых металлов, можно говорить о том, что фактор 2 отражает техногенез.

Таблица 2. Факторные нагрузки химических элементов

Фактор	Нагрузки элементов на фактор					
	Cu	Pb	Ni	Mn	Cr	Вклад, %
1	0,02	0,43	0,5	0,89	0,93	63
2	0,95	0,8	0,7	0,2	0,1	21

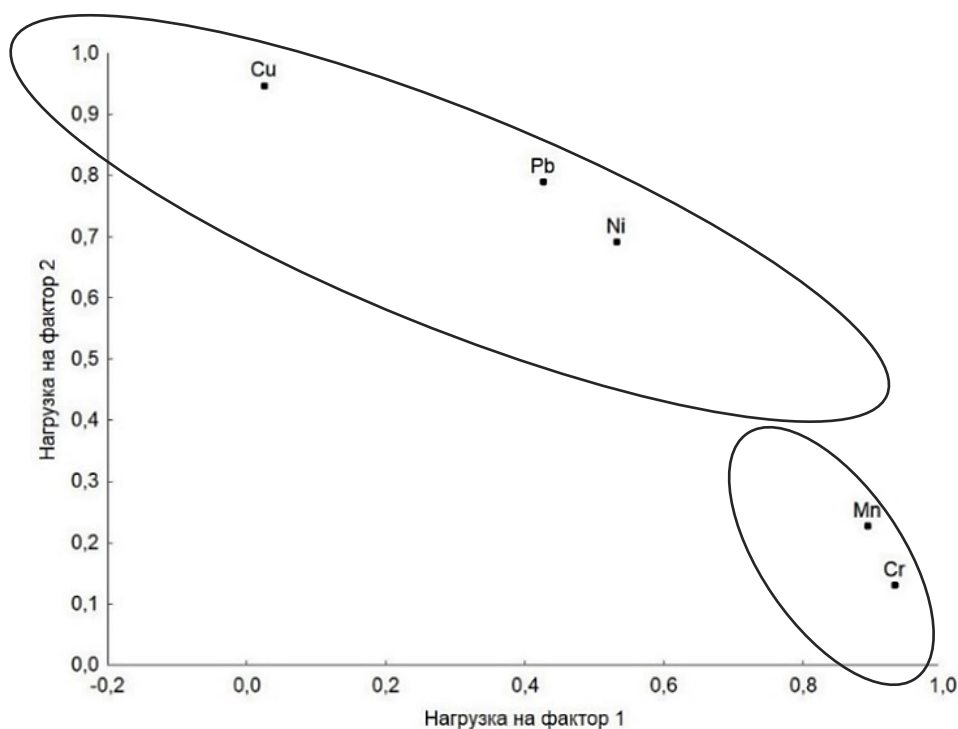


Рис. 1. График факторных нагрузок в двумерном пространстве

**Заключение.** В результате проведённого анализа были получены данные об парагенном накоплении тяжелых металлов в почвах города. В итоге установлено, что наибольшие концентрации металлов приурочены к центральной и производственным зонам города. На данных

территориях значимым фактором распределения металлов является техногенез, следовательно, характерно парагенное накопление техногенной ассоциации Cu-Pb-Ni. Главными источниками её формирования являются атмосферические выбросы машиностроительных предприятий и транспорта. Оседая из атмосферы на поверхность почвы, они накапливаются и тем самым преобразуют её. В то же время литогенная ассоциация Mn-Cr в поверхностном горизонте почв сформировалась под действием педогенеза и является естественной для данной территории, что отмечалось нами для других городов Беларуси, например, для Молодечно [1]. Проведённый факторный анализ позволил более точно определить причины формирования данных ореолов накопления и выявить существующие ассоциации.

### Список литературы

1. Карпиченко А.А., Семенюк А.С. ГИС-картографирование факторов накопления тяжелых металлов в почвах города Молодечно // Географические аспекты устойчивого развития регионов: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., 27–29 мая 2021, Гомель. 2021. С. 65–69.
2. Петухова Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Минск: Наука и техника, 1987. 231 с.
3. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Минск, 2004.
4. Тюлькова Е.Г., Карпиченко А.А. Эколого-геохимическая оценка условий развития и адаптация древесных растений к техногенному воздействию (на примере г. Гомеля) // Природные ресурсы. 2020. № 2. С. 70–77.
5. White W.M. (ed.). Encyclopedia of Geochemistry: A Comprehensive Reference Source on the Chemistry of the Earth. Springer International Publishing, 2018. 1574 p.

## ANALYSIS OF PARAGENIC ASSOCIATIONS OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF MINSK

*Karpichenka Aliaksandr, Kyhlevski Egor*

Belarusian State University, Faculty of Geography and Geoinformatics,  
Minsk, Belarus

E-mail: kyhlevskiegor@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the specifics and basic statistics of the accumulation of heavy metals in the Minsk city soils. Technogenic and lithogenic associations of elements are identified by the principal component method. Probable reasons for the accumulation of the elements are considered.

**Keywords:** heavy metals, technogenesis, soils, Minsk, Belarus.