

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ**  
**Кафедра физической географии мира и образовательных технологий**  
**БЕЛОРУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО**



**Современные направления  
развития физической географии:  
научные и образовательные аспекты  
в целях устойчивого развития**

**Материалы международной научно-практической конференции,  
посвященной 85-летию факультета географии и геоинформатики  
Белорусского государственного университета  
и 65-летию Белорусского географического общества**

**Минск, 13–15 ноября 2019 г.**



**Информационный партнер конференции – издательство «Аверсэв»**

**Минск  
БГУ  
2019**

УДК 811.2(06)

**Редакционная коллегия:**

кандидат географических наук, доцент *Е. Г. Кольмакова* (гл. ред.),  
кандидат географических наук, доцент *Е. В. Матюшевская*,  
кандидат географических наук, доцент *А. Е. Яротов*,  
старший преподаватель *М. М. Ермолович*

**Рецензенты:**

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой географии  
и методики преподавания географии факультета естествознания  
Белорусского государственного педагогического университета  
имени Максима Танка *А. В. Таранчук*;  
профессор, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры  
экологического мониторинга и экспертизы Международного  
государственного экологического института имени *А. Д. Сахарова*  
Белорусского государственного университета *М. Г. Ясовеев*

**Современные** направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию фак. географии и геоинформатики Белорус. гос. ун-та и 65-летию Белорус. геогр. о-ва, Минск, 13–15 нояб. 2019 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Е. Г. Кольмакова (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2019.

ISBN 978-985-566-880-1.

Рассматриваются актуальные научные проблемы и перспективы развития географической науки, представлен теоретический опыт научных сотрудников и педагогов общего среднего и высшего географического образования для обеспечения учебного процесса в учреждениях образования и интеграции науки и образовательной деятельности для реализации целей устойчивого развития Беларуси до 2030 года.

Для научных работников, преподавателей высших учебных заведений, учителей географии, аспирантов, студентов географических специальностей.

УДК 811.2(06)

ISBN 978-985-566-880-1

© БГУ, 2019

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВ**

**Карпиченко А.А.**

*Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, karpi@bsu.by*

В статье рассмотрено использование многомерного статистического анализа для выявления характера накопления тяжелых металлов под влиянием техногенеза. С помощью метода главных компонент было выделено два фактора объясняющие дисперсию содержания тяжелых металлов в почвах г. Молодечно и зоны его влияния на 42,4 % и 21,7 % соответственно. Первый фактор заметно влияет на распределение Cu, Ni, Sn, Pb, второй – на Mn, Ti, Cr.

*Ключевые слова:* почва; тяжелые металлы; статистические методы; техногенез; Беларусь.

## **USE OF STATISTICAL METHODS FOR IDENTIFICATION OF FEATURES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SURFACE SOIL HORIZONS**

**Karpichenka A.A.**

*Belarusian State University,  
Minsk, Republic of Belarus, karpi@bsu.by*

The article discusses the use of multivariate statistical analysis to identify the nature of the accumulation of heavy metals under the influence of technogenesis. Using the principal component method, two factors were identified that explain the dispersion of the content of heavy metals in the soils of Maladziečna city and its influence zone by 42.4% and 21.7%, respectively. The first factor significantly affects the distribution of Cu, Ni, Sn, Pb, the second – Mn, Ti, Cr.

*Key words:* soil, heavy metals; statistical methods; technogenesis; Belarus.

На современном этапе развития физической географии и смежных наук продолжает усиливаться роль статистических методов для выявления новых закономерностей пространственного распределения тех или иных показателей, а также при установлении региональных особенностей функционирования природно-антропогенных геосистем. В последнем случае важным является выбор подходящих критериев, способных выполнять функции «маркеров» техногенной трансформации ландшафтов, оказывающей влияние на ландшафтное разнообразие и структуру географической среды [1]. Поскольку при техногенезе часто наблюдается изменение процессов миграции и накопления химических элементов, что вызывает изменения в химическом составе депонирующих сред, в таком случае накопление технофильных элементов в верхних горизонтах почв может являться одним из показателей, с помощью которых можно проводить количественную оценку техногенной нагрузки и трансформации ландшафтов [2]. Основной трудностью в данных случаях является выявление техногенной доли элемента, поскольку и в естественных условиях наблюдается существенная вариабельность содержания элементов в почвах [3]. В подобных случаях техногенное влияние можно установить с помощью статистических методов, поскольку оно часто вызывает существенные отклонения содержаний элементов от нормального или логнормального распределения [4]. Диаграммы распределения загрязненных почв часто отличаются наличием существенной асимметрии, поэтому их построение следует производить при статистической обработке результатов анализа на содержание тяжелых металлов.

Влияние техногенного давления на природно-антропогенные системы проводилось на примере г. Молодечно и его окрестностей, поскольку очевидно, что его

величина будет иметь существенные пространственные отличия в городе и за его пределами, что может сказаться на характере их накопления. Изучение геохимии почв г. Молодечно и его зоны влияния проводилось отбора смешанных проб из поверхностных горизонтов почв в городе (в июне 2016 г.) и на удалении от 100 м до 10 км от городской черты (июль 2017 г.). Всего было отобрано 74 образца. Отобранные образцы почв высушивались до воздушно сухого состояния, просеивались через сито диаметром 1 мм, взвешивались, после чего проводилось сухое озоление пробы в муфельной печи при температуре 440–450°C. После озоления проба охлаждалась в эксикаторе, взвешивалась для определения потерь при прокаливании, и растирались до пудрообразного состояния.

Анализ валового содержания Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti в почвах производился эмиссионно-спектральным методом на многоканальном атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДМ в дуге переменного тока в научно-исследовательской лаборатории экологии ландшафтов Белорусского государственного университета. Статистическая обработка результатов анализов проводилась в программах Microsoft Excel и Statistica 6.0. Основные статистические показатели содержания исследуемых элементов в почвах города и его зоны влияния приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах г. Молодечно и его зоны влияния**

	Химические элементы, мг/кг воздушно-сухой почвы (n=74)						
	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Минимум	4,0	3,1	90,6	1,4	0,5	478,8	7,2
Максимум	46,4	72,9	843,0	63,3	11,1	3579,5	108,2
Среднее	15,0	17,0	443,7	9,9	3,1	1911,0	33,9
Медиана	12,7	15,1	432,1	8,2	3,0	1922,7	33,2
Коэффициент вариации, %	55,3	54,5	41,1	81,2	54,2	39,5	41,2
Стандартная ошибка среднего арифметического	0,97	1,08	21,2	0,93	0,20	87,7	1,62
Экссесс	2,94	17,40	-0,64	27,07	6,75	-0,91	10,01
Асимметричность	1,55	3,29	0,24	4,36	1,98	0,12	2,01

Максимальные содержания всех исследуемых элементов выше для города, чем для района, особенно велика эта разница для Pb, Cr, Ni и Cu, что указывает на техногенную природу формирования геохимических аномалий. Для всех исследуемых элементов характерно высокое варьирование содержания в верхних горизонтах почв, за исключением никеля, у которого коэффициент вариации составил 81,2 %. Кроме того, для большинства исследуемых элементов (кроме марганца и титана) установлены заметные асимметричность и эксцесс кривой распределения, что указывает на наличие отклонений от нормального распределения. Наличие подобных отклонений ограничивает возможность использования корреляционного анализа (см. рис. 1) для выявления парагенетических ассоциаций элементов, формирующихся при наличии сходных факторов накопления. Поэтому для выявления возможного парагенетического накопления элементов в верхних горизонтах почв в программе Statistica использовался метод главных компонент [5], минимизация количества переменных с высокой факторной нагрузкой проводилась ортогональным вращением матрицы факторных нагрузок по методу Varimax.

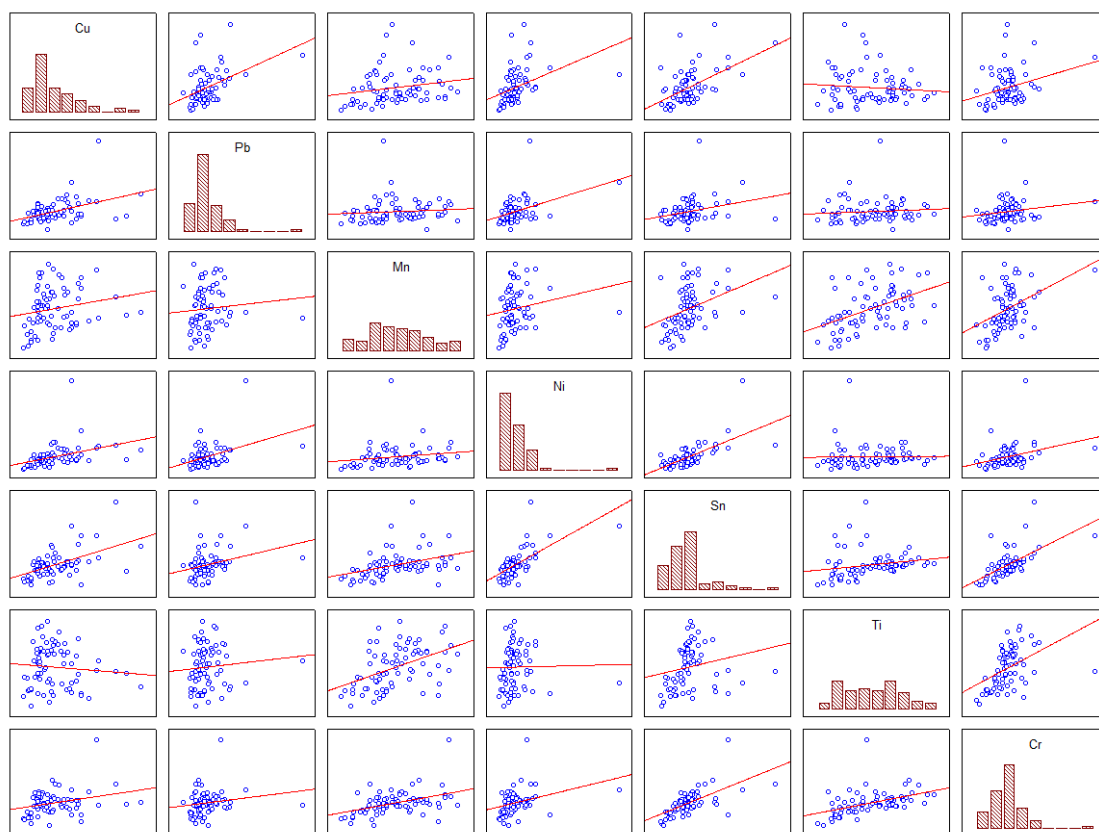


Рис. 1. Матрица связей между Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti в почвах г. Молодечно и его зоны влияния

В итоге по критерию Кайзера было выделено два фактора с собственными значениями выше 1, процент объясненной дисперсии для первого фактора составил 42,4 %, для второго – 21,7 %, значения факторных нагрузок приведены в таблице 2.

Таблица 2

#### Факторные нагрузки

	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Фактор 1	0,79	0,67	0,17	0,79	0,76	-0,11	0,40
Фактор 2	-0,02	-0,04	0,76	0,09	0,43	0,85	0,72

Факторные нагрузки в данном случае показывают отношение элемента к тому или иному фактору. По итогам анализа можно предположить возможность существования фактора, в сильной мере сказывающегося на накоплении меди, никеля и олова, чуть меньшее сродство к нему зафиксировано для свинца. Второй фактор оказывает заметное влияние на пространственное распространение марганца, титана и хрома (см. рис. 2).

Первый фактор с заметной долей уверенности является техногенным, поскольку накопление для Cu, Ni, Sn и Pb отмечались нами для производственно-складской зоны г. Молодечно [6], при этом данные элементы участвуют в технологических процессах предприятий города, например, на заводе порошковой металлургии. Кроме того, на заметном удалении от города существенных положительных аномалий в содержании данных элементов не отмечено.

Второй фактор, определяющий накопление Mn, Ti и Cr, скорее всего, связан с природными факторами, такими как генезис почвообразующих пород и их гранулометрический состав, поскольку территория города и района в этом отношении не являются однородными: к северу от города преобладают водно-ледниковые пески и супеси, к северо-западу: аллювиальные пески и супеси вместе с осушенными

торфяниками, к югу и юго-востоку: моренные суглинки и супеси. Дополнительным аргументом в пользу подобной интерпретации результатов анализа может выступить полимодальное распределение титана, содержание которого сильно отличается для данных пород.

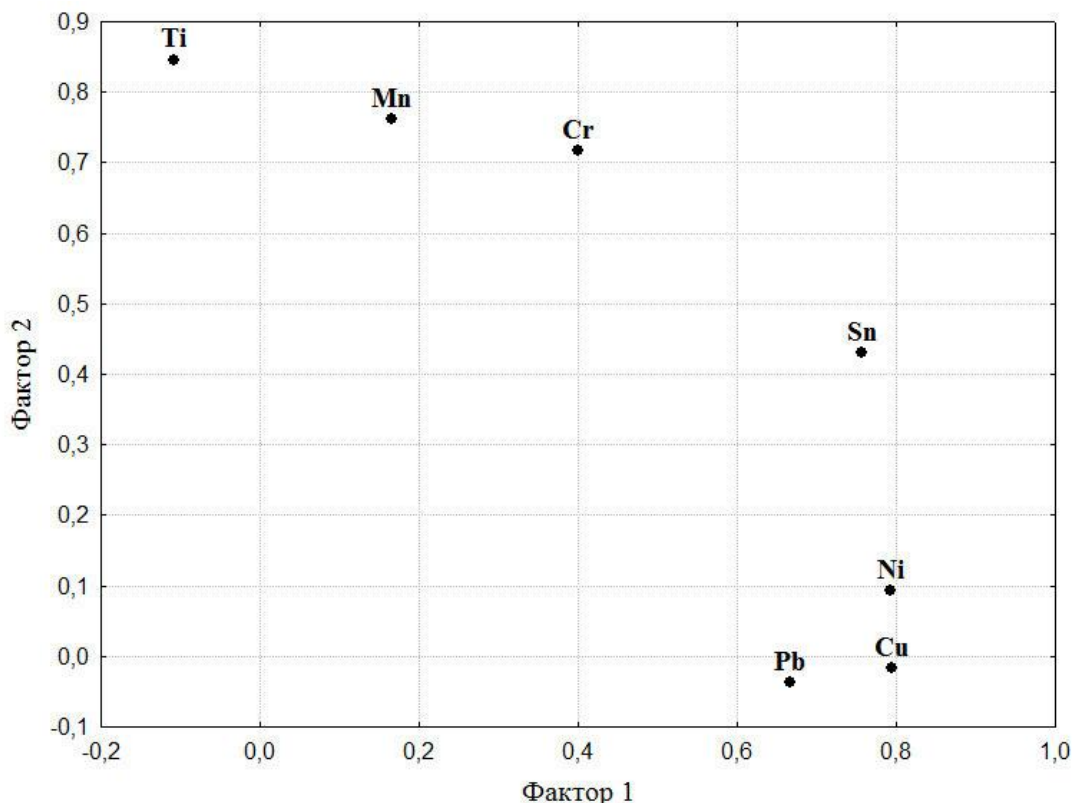


Рис. 2. Распределение факторных нагрузок

Результаты показали, что применение метода главных компонент вместе с другими статистическими методами позволяет установить возможные факторы накопления тяжелых металлов в почвах, вычленив техногенное влияние на ландшафты, объяснить пространственную неоднородность формирующихся геохимических аномалий, что согласуется с исследованиями других авторов [7].

#### Библиографические ссылки

1. Структура географической среды и ландшафтное разнообразие Беларуси. В.С. Аношко и др.; под ред. И.И. Пирожника, Г.И. Марцинкевич. Минск: БГУ, 2006. С. 196.
2. Чертко Н. К., Карпиченко А. А. Техногенные нагрузки на ландшафты Белорусского Полесья. Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2013. № 2. С. 62-65.
3. Петухова Н. Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Мн.: Наука и техника, 1987. С. 231.
4. Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами. Почвоведение. 1999. № 5. С. 639-645.
5. Боровиков В. П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. М.: Изд-во Питер, 2003. С. 688.
6. Карпиченко А. А., Чертко Н. К., Семенюк А. С. Геохимическая оценка почв и растительности г. Молодечно. Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2018. № 1. С. 21-29.
7. Лукашёв О. В., Жуковская Н. В., Лукашёва Н. Г. Ассоциации химических элементов в почвенном покрове природных и урбанизированных территорий. Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 1. С. 46-55.