

А. А. КАРПИЧЕНКО, А. С. СЕМЕНЮК

**ГИС-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ НАКОПЛЕНИЯ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ГОРОДА МОЛОДЕЧНО**

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
karpi@bsu.by, geo-semenuk@yandex.ru*

В статье рассматриваются возможности картографирования в среде ГИС результатов факторного анализа данных по содержанию тяжелых металлов в почвах города Молодечно. Созданные карты ассоциаций химических элементов позволили выявить закономерности пространственного распределения исследуемых металлов в почвах города.

Геохимические исследования почвенного покрова являются основным источником данных для определения уровня загрязнения городских почв тяжелыми металлами и другими поллютантами. Вместе с тем результаты геохимических анализов зачастую не дают прямого ответа на вопрос, какими факторами: природным или техногенными – обусловлено повышенное содержание того или иного химического элемента в почве [2]. В таких случаях можно воспользоваться геоинформационными технологиями, чтобы в единой цифровой среде отобразить как поверхность загрязнения тяжелым металлом, так и основные промышленные предприятия, и транспортные артерии, которые могут выступать в качестве источников загрязнения. Результаты факторного анализа данных по содержанию металлов в почвах могут много рассказать о причинах того или иного распределения химических элементов в почвенном покрове, показать возможную парагенетическую природу их накопления [4]. Картографическая интерпретация результатов факторного анализа в среде ГИС позволяет с довольно высокой степенью достоверности определить источники загрязнения почвенного покрова.

В качестве примера проведения подобного исследования рассмотрим результаты геохимического анализа образцов почв города Молодечно на содержание в них металлов (марганец, медь, никель, олово, свинец, титан, хром), проводившегося авторами в 2016 году. Отбор смешанных образцов почв производился в 44 точках на территории города (при этом учитывались функциональные зоны) и на небольшом удалении от него с глубины 5 – 15 см. Анализ валового содержания металлов в почвах производился эмиссионно-спектральным методом на многоканальном атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДДМ в дуге переменного тока в лаборатории экологии ландшафтов БГУ (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание исследуемых элементов в почвах г. Молодечно

Показатель	Химические элементы, мг/кг (n=44)						
	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Sn</i>	<i>Ti</i>	<i>Cr</i>
Среднее	17,5	18,7	460	11,0	3,6	1986	36,5
Размах варьирования	6,6–46,4	3,1–72,9	149–843	2,3–63,3	0,6–11,1	479–3580	9,9–108,2

Город Молодечно с населением около 90 тысяч человек является значимым промышленным центром Беларуси. Основные направления специализации – металлургия (завод порошковой металлургии), машиностроение и металлообработка (завод

металлоконструкций, ЗАО «Амкодор-Уникаб», ООО «Белхол»), деревообрабатывающая (ЗАО «Молодечномобель», СП «ММЦ» ООО) и пищевая промышленность (молочный комбинат, мясокомбинат ООО «Велес-Мит», кондитерская фабрика «Конфа»). В последнее десятилетие многие предприятия сократили свое влияние на окружающую среду по различным причинам, но картина загрязнения почвенного покрова городов сохраняет определенную инерционность и зачастую фиксирует высокое содержание тяжелых металлов в промышленных зонах [3].

Для того чтобы определить возможные источники загрязнения почвенного покрова города Молодечно, в программном пакете *Statsoft Statistica 6.0* был проведен анализ данных по содержанию элементов методом главных компонент, в результате по критерию Кайзера было выделено 2 фактора с собственным значением выше 1. Изначальное распределение элементов между факторами допускало несколько вариантов толкования, поэтому для удобства выявления факторов и относящихся к ним элементов применялось ортогональное вращение матрицы факторных нагрузок методом *Varimax* (варимакс) [1], что позволило получить более однородные данные для отнесения элемента к первому или второму фактору, при этом общий процент объясненной дисперсии не изменился и составил около 63 % (таблица 2).

Таблица 2 – Значения факторных нагрузок (варимакс)

Показатель	Фактор 1	Фактор 2
<i>Cu</i>	0,76	-0,03
<i>Pb</i>	0,59	-0,14
<i>Mn</i>	0,13	0,83
<i>Ni</i>	0,80	-0,01
<i>Sn</i>	0,82	0,32
<i>Ti</i>	-0,20	0,79
<i>Cr</i>	0,44	0,69
Собственное значение	2,48	1,92
Доля объясненной дисперсии	0,35	0,27

После добавления собственных значений факторов в точках отбора образцов в базу геоданных в среде *ArcGIS* были созданы карты ассоциаций химических элементов по двум факторам. Первый фактор (рисунок 1), оказывающий значимое сильное влияние на распределение меди, олова, никеля и среднее для свинца в почвенном покрове Молодечно, имеет в большей мере техногенное происхождение, на что указывают максимальные значения факторных координат, приуроченные к промышленным предприятиям (завод порошковой металлургии, завод металлоизделий на востоке) и местам хранения (склад ОАО «Белворчермет» на северо-западе города) и перегрузки (район железнодорожной станции) металлургического сырья.

Второй фактор (рисунок 2), в значительной мере определяющий накопление в почвенном покрове марганца, титана и частично хрома, можно условно назвать природным.

Следует отметить, что завод порошковой металлургии использует упомянутые элементы в качестве сырья, что является дополнительным аргументом в пользу его возможного влияния на их накопление, на что и может указывать картирование факторов, интерпретируемых как техногенные [6]. Отнесение второго фактора к природным обуславливается тем, что наибольшие значения факторных координат (за исключением точки на северо-востоке Молодечно) тяготеют к южной части города, где распространены моренные почвообразующие породы с заметной долей суглинков, которые отличаются большим содержанием марганца, титана и хрома, чем водно-ледниковые или аллювиальные [7].

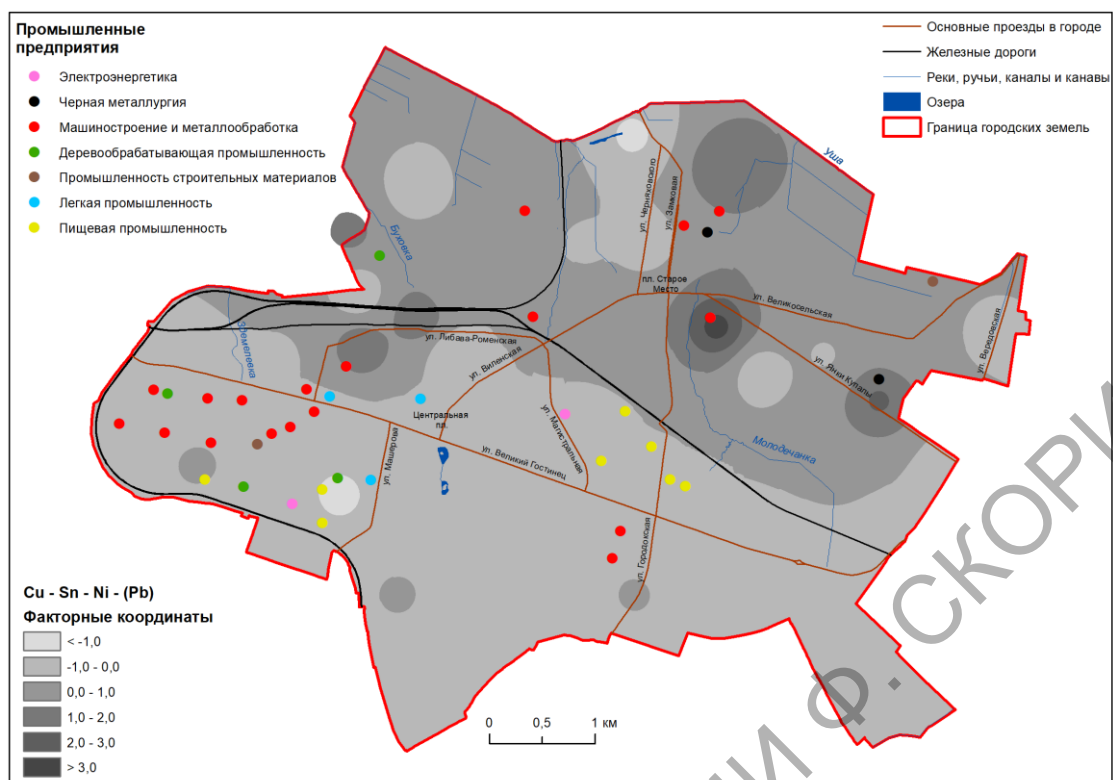


Рисунок 1 – Ассоциация химических элементов ($Cu - Sn - Ni - (Pb)$). Фактор 1

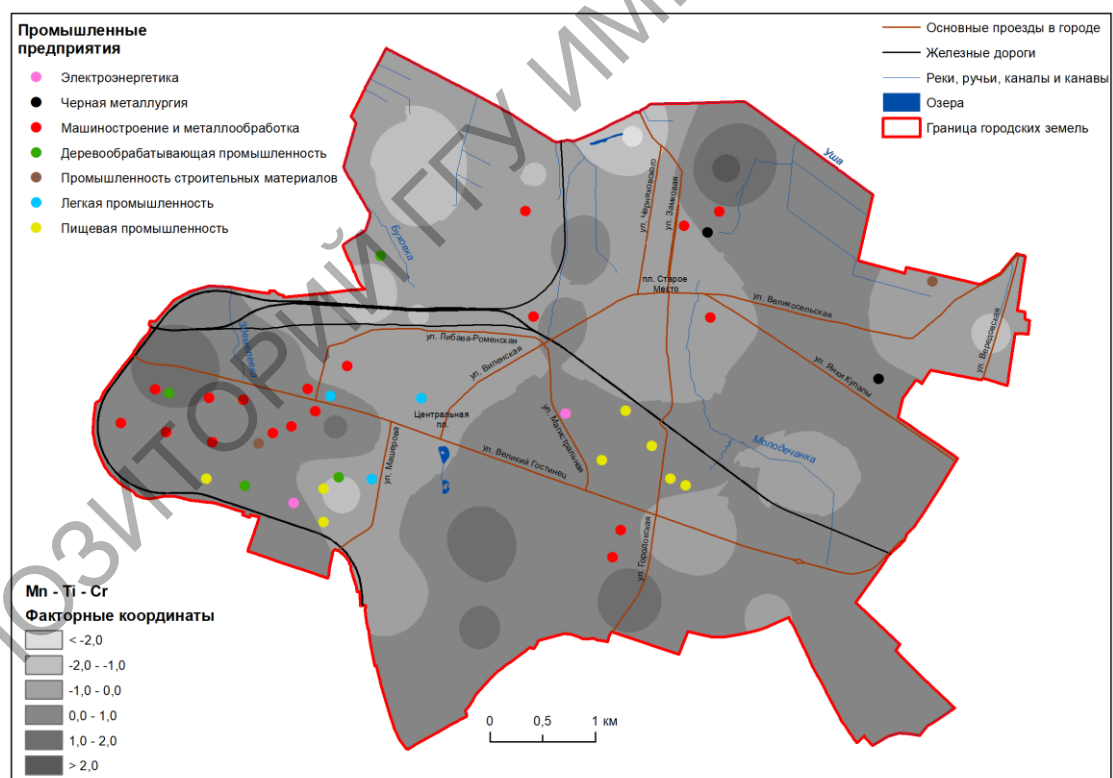


Рисунок 2 – Ассоциация химических элементов ($Mn - Ti - Cr$). Фактор 2

Для лучшего понимания характера связей между элементами в *Statistica 6.0* провели кластерный анализ с использованием в качестве метрики коэффициента линейной корреляции Пирсона (точнее $1 - r$), дендрограмма (рисунок 3) строилась методом полной

связи. Как и при анализе методом главных компонент, элементы разделились на две группы, первая включает в себя медь, свинец, никель и олово, вторая – титан, марганец и хром, схожее накопление последних элементов отмечалось нами и для г. Жодино [5], что может свидетельствовать о схожем характере накопления данных элементов в городских почвах.

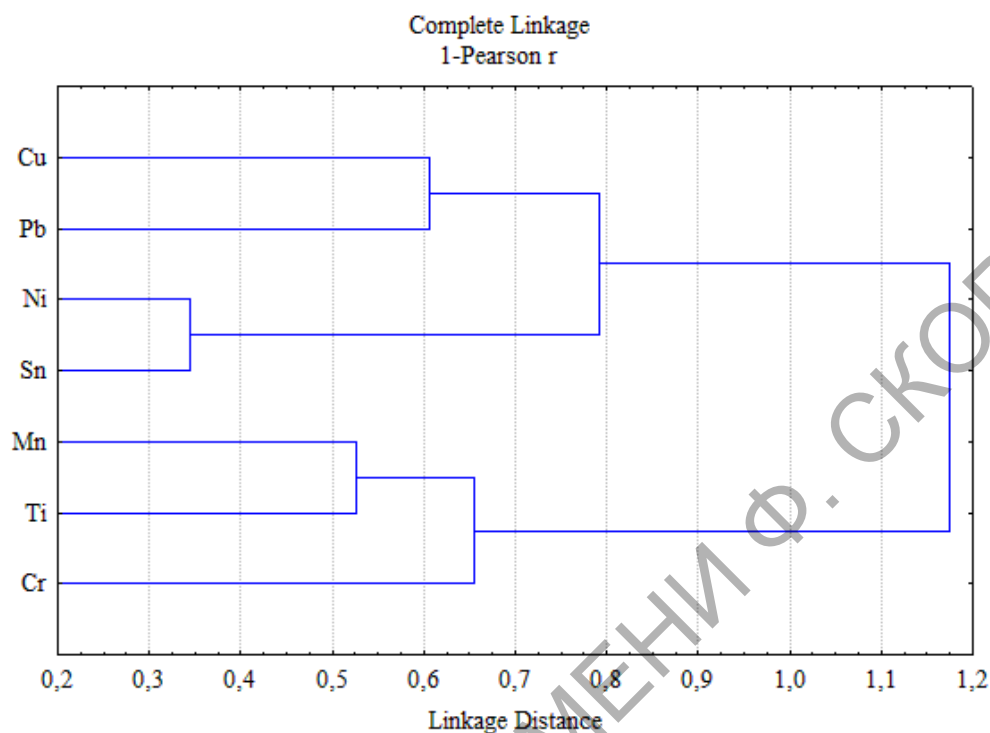


Рисунок 3 – Дендрограмма результатов кластерного анализа

Таким образом, картографическая интерпретация результатов почвенно-геохимического исследования территории позволила разделить город на два района по содержанию металлов в почвах: первый – с повышенным содержанием марганца, титана и хрома, представленный дерново-подзолистыми суглинистыми и супесчаными почвами на склонах моренной возвышенности на юге Молодечно с преимущественно жилой многоквартирной застройкой (43,3 % территории); второй – с повышенным содержанием в почве меди, олова, никеля и свинца, представленный дерново-подзолистыми глееватыми супесчаными и песчаными почвами водно-ледниковой равнины на севере Молодечно с преимущественно жилой усадебной застройкой (56,7 % территории). С точки зрения элементарных ландшафтов первый район соответствует элювиальным и трансэлювиальным ландшафтам на моренных суглинках и супесях, второй район – элювиально-аккумулятивным и трансупераквальным ландшафтам на водно-ледниковых супесях и песках, а также супераквальным ландшафтам на пойменных торфах.

Список литературы

- 1 Боровиков, В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Учебное пособие для вузов / В.П. Боровиков. – М. : Горячая Линия–Телеком, 2018. – 288 с.
- 2 Водяницкий, Ю.Н. Критерии техногенности тяжелых металлов и металлоидов в почвах (литературный обзор) / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1133–1141.
- 3 Водяницкий, Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М. : ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 86 с.

4 Карпиченко, А.А. Влияние техногенеза на накопление тяжелых металлов в городских почвах / А.А. Карпиченко // Географические аспекты устойчивого развития регионов: Материалы II междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 23–24 марта 2017 г. / редкол.: А.И. Павловский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. – С. 479–484.

5 Карпиченко, А.А. Особенности накопления титана, марганца и хрома в поверхностных горизонтах почв г. Жодино (Беларусь) / А.А. Карпиченко, Н.К. Чертко // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана): Доклады Всеросс. науч. конф., Москва, 18–20 окт. 2016 г. / редкол.: Н.С. Касимов (пред.) [и др.]. – М. : Географический факультет МГУ, 2016. – С. 247–250.

6 Лукашэў, О.В. Ассоциации химических элементов в почвенном покрове природных и урбанизированных территорий / О.В. Лукашэў, Н.В. Жуковская, Н.Г. Лукашэва // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2, Химия. Биология. География. – 2016. – № 1. – С. 46–55.

7 Петухова, Н.Н. Геохимическое состояние почвенного покрова Беларуси / Н.Н. Петухова, В.А. Кузнецов // Природные ресурсы. – 1999. – № 4. – С. 40–49.

A. A. KARPICHENKA, A. S. SEMIANIUK

GIS MAPPING OF FACTORS OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOILS OF MOLODECHNO CITY

In the article the capabilities of GIS mapping of the results of factor analysis of data for heavy metals in soils of Molodechno city are considered. Created maps of the associations of chemical elements revealed the regularities of spatial distribution of research metals in soils of city.