

ВЫЯВЛЕНИЕ И ГИС-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ АССОЦИАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ГОРОДОВ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ (НА ПРИМЕРЕ г. ОРША И БАРАНЬ)

В. Н. Сурмач

кафедра почвоведения и ГИС факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета, Минск, surma4vika@gmail.com

А.А. Карпиченко

к.г.н., доцент кафедры почвоведения и ГИС факультета географии
и геоинформатики Белорусского государственного университета

Выполнено ГИС-картографирование ассоциаций элементов в верхнем горизонте почв городов Орша и Барань методом главных компонент (с использованием варимакс-вращения). Установлено, что дисперсия распределения элементов в почвах в значительной мере объясняется действием трех факторов. Первый фактор в заметной мере объясняет распределение Sn и Cr, второй – Mn и Ti, третий – Cu и Ni, в несколько меньшей мере – Pb. Пространственная неоднородность влияния факторов на территории городов была показана в виде картограмм, построенных в среде ArcGIS. Распределение Mn и Ti в большей мере связано с естественными факторами неоднородности почвенного покрова, в накоплении остальных элементов есть признаки техногенного накопления, что проявилось в точечном характере максимальных значений факторных координат.

Ключевые слова: ГИС-картографирование; метод главных компонент; тяжелые металлы; загрязнение почв; статистический анализ

Основное поступление загрязняющих веществ в почвы городов связано преимущественно с техногенными факторами. Неравномерное распределение техногенных нагрузок на территории городов и неоднородность ландшафтно-геохимических условий обуславливают формирование сложных пространственных структур загрязнения городских почв [1]. При этом для ряда городов характерна естественная неоднородность содержания ряда элементов, вызванная различием в генезисе и гранулометрическом составе почв, что необходимо учитывать при картографировании техногенных аномалий в урболандшафтах [2].

Важной задачей в геохимическом исследовании является выделение ассоциаций химических элементов, которые находятся в одной среде и реагируют на изменения этой среды. Формирование этих ассоциаций в городской среде происходит в результате сложных геохимических процессов взаимодействия техногенных потоков вещества с достаточно консервативным природным веществом первичных ландшафтно-почвенных комплексов, в результате которых формируются сложные природно-техногенные ассоциации элементов, зачастую уникальные для каждого города [3].

Для изучения корреляционных связей между химическими элементами и выявления природы геохимических ассоциаций на урбанизированных территориях можно использовать методы многомерного статистического анализа, например, метод главных компонент [4].

Целью проекта было выявление ассоциаций химических элементов в почвах городов Орша и Барань. Исходными данными послужили результаты эмиссионно-спектрального анализа на содержание Cu, Pb, Mn, Ni, Sn, Cr, Ti в 49 образцах из верхних горизонтов почв данных городов, отобранных в 2019 г. Анализ содержания элементов проведен на атомно-эмиссионном спектрометре ЭМАС-200ДДМ в НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

Статистический анализ осуществлялся с использованием программного пакета Statistica 6.0, на основе корреляционной матрицы методом главных компонент. Как значимые рассматривались факторы с собственным значением выше 1 (критерий Кайзера), в итоге было выделено три фактора с собственным значением выше 1, объясняющие около 74 % общей дисперсии (таблица 1). Интерпретация результатов факторного анализа осуществлялась по значениям нагрузок, которые являются коэффициентами корреляции между выделенными компонентами и переменными. Переменные, более тесно коррелирующие с данным фактором, чем с другими, формируют его ядро. Сами компоненты и соответствующие им ассоциации ранжируются согласно степени влияния, оцениваемой по их вкладу в общую дисперсию. Значения факторных нагрузок по элементам показаны в таблице 2.

Таблица 1 – Собственные значения факторов

Фактор	Собственные значения			
	Собственные значения	% общей дисперсии	Суммарные собственные значения	Суммарный % общей дисперсии
1	2,43	34,75	2,43	34,75
2	1,52	21,70	3,95	56,45
3	1,02	14,59	4,97	71,04

Таблица 2 – Факторные нагрузки

	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Фактор 1	-0,67	-0,53	-0,21	-0,65	-0,78	-0,32	-0,73
Фактор 2	-0,43	-0,38	0,73	-0,08	-0,07	0,76	0,26
Фактор 3	0,36	-0,01	0,05	0,58	-0,48	0,32	-0,48

Стоит отметить, что подобное распределение элементов между факторами является не слишком удобным для содержательной интерпретации, элементы имеют существенные связи сразу с несколькими факторами, что затрудняет определение причинности подобного распределения. Чтобы преодолеть эту неоднозначность при факторном анализе допускается «вращение» матрицы факторных нагрузок, что способствует более отчетливому выявлению групп признаков, которые определяют тот или иной фактор. Наиболее часто употребляется ортогональное вращение по варимакса (Varimax), при котором происходит минимизация количества переменных с высокой факторной нагрузкой. В результате применения этого метода в Statistica получили результаты более однородные собственные значения факторов, что видно их таблиц 3 и 4.

Таблица 3 – Собственные значения факторов (варимакс)

Фактор	Собственные значения			
	Собственные значения	% общей дисперсии	Суммарные собственные значения	Суммарный % общей дисперсии
1	1,77	25,32	1,77	25,32
2	1,51	21,60	3,28	46,93
3	1,69	24,10	4,97	71,04

Таблица 4 – Факторные нагрузки (варимакс)

	Cu	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr
Фактор 1	0,22	0,36	0,16	0,08	0,90	0,06	0,87
Фактор 2	0,13	0,23	-0,73	-0,26	0,04	-0,88	-0,25
Фактор 3	0,83	0,48	-0,11	0,83	0,22	0,12	0,06

Первый фактор в заметной мере объясняет накопление олова и хрома, второй – марганца и титана, третий – меди и никеля. Свинец имеет среднюю связь с первым и третьим фактором, но значение факторной нагрузки выше в последнем случае, поэтому при анализе его отнесли к ассоциации Cu-Ni. Было выявлено некоторое сходство в формировании ассоциаций элементов с городом Молодечно [5], где также было отмечено сходство распределения Cu и Ni, Mn и Ti, Sn и Cr были отнесены к разным ассоциациям, но при этом имели средние связи с другим фактором, что потенциально может свидетельствовать о наличии слабовыраженного третьего фактора накопления.

Вторым этапом данной работы стало ГИС-картографирование. ГИС-картографирование содержания элементов в почвенном покрове города проводилось в среде ArcGIS. Первая часть работы включала геопространственную привязку. Определялась пространственная привязка при создании в базе геоданных набора классов объектов или отдельных классов пространственных объектов. В нашем проекте была произведена геопривязка растрового изображения по векторному слою. Для этого использовались данные OpenStreetMap, в которых был найден Оршанский район со всеми границами.

Следующим этапом стало создание картографической основы путем оцифровки по карте с OpenStreetMap и добавление железных дорог и гидрографии. Для дальнейшей работы была внесена таблица с данными факторных координат, полученных в Statistica, в таблицу атрибутов, а на карте были расставлены точки мест проведения исследований почв на наличие тяжелых металлов. Данные точки были добавлены на карту в соответствии с их координатами для дальнейшего ГИС-картографирования [6].

На заключительном этапе создания карты была реализована компоновка. В завершении данного проекта был выполнен экспорт карты (*Вставка* → *Экспорт карты*). Результаты картирования показаны на рисунке 1.

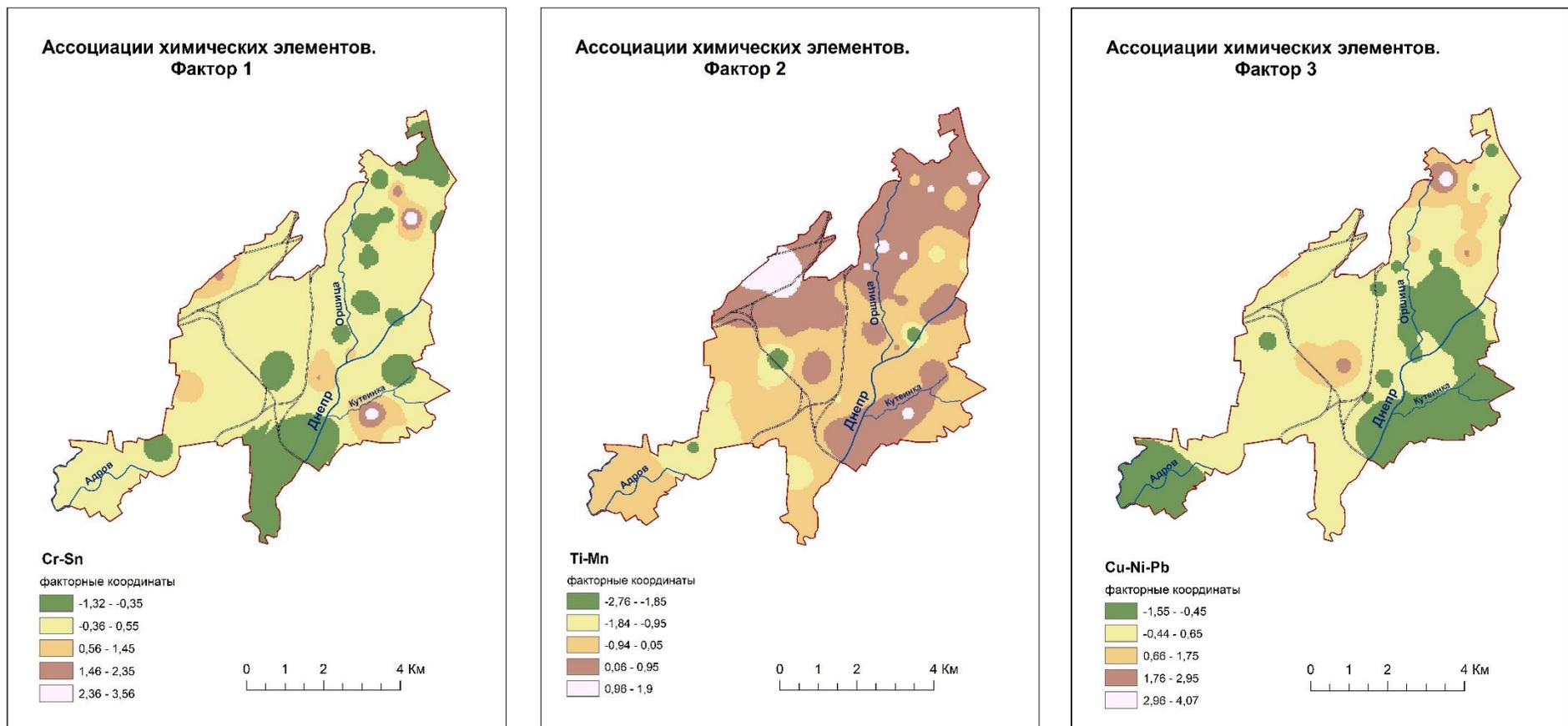


Рисунок 1 – Результаты картирования факторных координат

Сравнение результатов картирования факторных координат и моноэлементных карт показало наличие заметного сходства между распределением факторных координат и содержания элементов, относящихся к этому фактору. Исходя из характера распределения можно предположить, что распределение марганца и титана в большей мере связано с естественными факторами неоднородности почвенного покрова, в то время как в накоплении остальных элементов есть ряд признаков техногенного накопления, что проявилось в точечном характере максимальных значений факторных координат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Хомич В.С., Какарека С.В., Кухарчик Т.И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Минск: Минсктиппроект, 2004.
2. 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.
3. Чертко Н.К., Карпиченко А.А., Лебедев Д.О. Химия почв города Гомеля // Здоровые почвы – гарант устойчивого развития: сб. материалов II науч.-практ. конф. с международным участием, Курск, 14 мая 2019 г. Курск: Курск. гос. ун-т, 2019. С. 95–99.
4. Лукашёв О.В., Жуковская Н.В., Лукашёва Н.Г. Ассоциации химических элементов в почвенном покрове природных и урбанизированных территорий // Вестник БГУ. Серия 2, Химия. Биология. География. 2016. № 1. С. 46–55.
5. Карпиченко А.А. Использование статистических методов для выявления особенностей накопления тяжелых металлов в поверхностных горизонтах почв // Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. Минск, 13–15 нояб. 2019 г. Минск: БГУ, 2019. С. 127–130.
6. Ковальчик Н.В., Жуковская Н.В. ГИС-картографирование и геохимический анализ ландшафтов. Практикум по геохимии ландшафтов [Электронный ресурс]: пособие. Минск: БГУ, 2019.