

ВЫБОР ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИНВЕСТИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

С.С. Подхватилина, Л.С. Машиканова

Экономический кризис 90-х годов отодвинул проблемы экологии земельного фонда на далекую перспективу. Однако реальная экологическая ситуация требует незамедлительной разработки инвестиционных программ с целью снижения негативных последствий загрязненности почвенного покрова для окружающей среды в целом и для населения, в частности.

Атмосферные выбросы городских предприятий загрязняют не только почвы городов, но и прилегающие к ним зоны, где интенсивно ведется сельскохозяйственное производство. Поэтому возникает вопрос о качестве продукции растениеводства и животноводства, получаемой на этих сельхозугодьях.

Проведенные исследования по оценке содержания тяжелых металлов в почвах пригородных территорий в радиусе 10 км от городской черты в зонах влияния ряда крупных промышленно-индустриальных центров Беларуси — Минска, Могилева и Гомеля — позволили выявить тесную прямую корреляционную зависимость между содержанием тяжелых металлов в почвах городов и пригородных территорий в радиусе до 10 км. Так, коэффициенты корреляции между содержанием элементов в почвах городов и пригородов составляет для г. Гомеля и г. Могилева $r^2=0,81$ и $r^2=0,89$ соответственно, для г. Минска — $r^2=0,62$ (рис. 1).

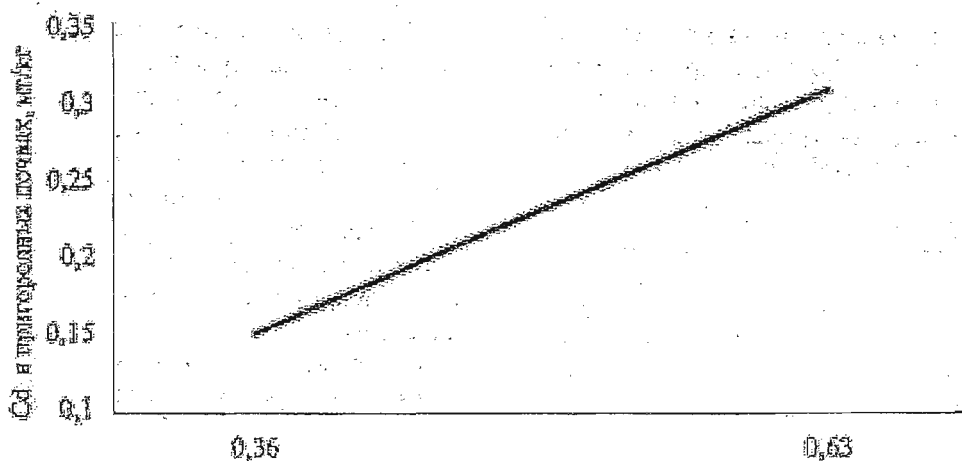


Рисунок 1 — Корреляционная зависимость между содержанием Cd в пригородных и городских почвах (среднее по г. Минску, г. Могилеву, г. Гомелю)

Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь в качестве приоритетов развития национальной экономики выделяет следующие направления:

- переход на природоохранный, ресурсосберегающий, инновационный тип развития;
- усиление взаимосвязи экономики и экологии, формирование эколого-ориентированной

экономической системы, развитие ее в пределах хозяйственной емкости экосистем;

- рациональное природопользование, предполагающее нерасточительное расходование возобновимых и максимально возможное уменьшение потребления невозобновимых ресурсов, расширение использования вторичных ресурсов, безопасную утилизацию отходов;

– экологизация мировоззрения человека, систем образования, воспитания, морали с учетом новых цивилизационных ценностей.

В условиях ограниченности финансовых ресурсов, отводимых на цели экологии, возникает вопрос о выборе приоритетных направлений этих вложений.

Существующая практика инвестирования сводится к аддитивной оценке ситуации, при которой не учитывается вариация зональных признаков, что усложняет принятие решений. Выбор критерия наиболее рациональных направлений финансирования можно упростить, используя один из методов многомерного исследования – кластерный анализ. Проведение его предполагает выполнение работ по трем основным этапам:

- 1) предварительной обработки исходной информации;
- 2) классификации объектов наблюдения;
- 3) анализ результатов кластеризации данных.

На предварительном этапе решаются такие задачи, как отбор информативных признаков и сбор данных; нормирование исходных данных; выбор меры близости между объектами наблюдения и алгоритма классификации.

При проведении кластерного анализа отбор информативных признаков осуществляется на логической или аналитической основе ограниченного их числа, позволяющего получить полное представление об изучаемом объекте.

Поскольку отобранные признаки имеют различную природу происхождения и единицы измерения, производят их нормирование следующими способами:

$$Z_1 = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad Z_4 = \frac{X_i}{X_{\max}}$$

$$Z_2 = \frac{X_i}{\bar{X}} \quad Z_5 = \frac{X_i - \bar{X}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

$$Z_3 = \frac{X_i}{X'}$$

где: Z – нормированные значения признака;

X_i – индивидуальное значение признака;

\bar{X}, σ, X' – соответственно, среднее, среднее квадратическое и нормативное (эталонное) значение признака;

X_{\max}, X_{\min} – наибольшее и наименьшее значения признака.

Выбор меры близости между объектами основывается на представлении каждого объекта наблюдения в виде точки Евклидоваго

пространства. Расстояние между объектами измеряется с помощью некоторых «метрик», отражающих длину отрезка между отдельными точками геометрического пространства.

Поскольку одним из наиболее значимых факторов загрязнения почвенного покрова в пределах городов и промышленных зон являются атмосферные выбросы городских предприятий, нами был проведен кластерный анализ по условным данным 40 городов. Классификация проводилась по уровню содержания тяжелых металлов и других ингредиентов в почвах отобранных городов. В качестве метрики сходства было выбрано евклидово расстояние.

Проведение иерархических агломеративных процедур позволило проследить по шагам весь процесс образования кластеров и представить его в графическом виде.

При анализе дендрограммы иерархического кластерного анализа по схеме последовательного объединения объектов на основе евклидовой метрики были выявлены самые близкие территории и города. Например, самыми близкими на основе евклидовой метрики оказались города, объединение которых произошло на первом шаге, на расстоянии, равном 6,64. В дальнейшем объединение произошло на расстоянии 6,973 и т.д.

Так, пошагово объединяясь, образовались следующие кластеры: Кластер S1 – на 27 шаге на расстоянии 26,353. Кластер S2 – на 24 шаге на расстоянии 23,355. Кластер S3 – на 30 шаге, на расстоянии 26,959. Кластер S4 – на 31 шаге, на расстоянии 27,218.

Оставшиеся города присоединились к вышеупомянутым на очень большом расстоянии и их следует рассматривать, как отдельные кластеры.

В результате применения указанной методики были образованы кластеры:

а) включающие в себя группы конкретных городов: Кластер S1; Кластер S2; Кластер S3; Кластер S4;

б) состоящие из отдельно стоящих городов: Кластер S5; Кластер S6; Кластер S7; Кластер S8; Кластер S9.

Для анализа загрязнения почв был рассчитан коэффициент концентрации химических элементов (табл. 1) путем сравнения уровня его реального содержания в почве (C_r) с фоновым уровнем (C_ϕ).

$$K_c = \frac{C_r}{C_\phi} * 100.$$

Таблица 1 – Коэффициент концентрации тяжелых металлов и других ингредиентов для среднего значения кластеров, %

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Фоновые значения
Cd	0,5935	0,4950	0,5877	0,5400	0,88	0,67	0,5	0,28	0,42	0,35
Zn	22,7941	35,4500	35,2846	34,9333	61,1	75,9	49,9	48,5	49,7	17,0
Pb	10,4118	10,4500	14,7692	12,1333	13,6	26,5	22,2	16	15,5	8,2
Си	7,1941	7,5500	8,3462	7,2667	8,0	11,4	10,5	8,2	11,5	3,8
Ni	6,4353	4,5500	6,3462	6,9000	6,4	8,7	6,7	4,4	6,2	3,8
Mn	134,5882	244,0000	209,3846	273,6667	145,0	165,0	159,0	80,0	277,0	191,0
SO ₄ ²⁻	43,7059	41,4000	46,0231	38,8000	43,7	45,6	56Л	46,8	75	45,1
NO ₃ ⁻	35,1118	8,4500	33,0692	37,8667	40,2	25,2	70,5	13,2	62,5	38,4

Сравнивая средние значения уровня тяжелых металлов по кластерам, можно отметить, что самая высокая концентрация Cd в кластере S5. Для него среднее значение выше фонового на 54,3%.

Используя корреляционную зависимость содержания Cd в пригородных зонах от уровня содержания этого металла в городских почвах, рассчитываем теоретический уровень содержания этого металла для выделенных кластеров, воспользовавшись уравнением регрессии вида:

$$y = -0,047 + 0,55 * X$$

Так, средний уровень содержания кадмия в пригодных зонах городов кластера S1 составит 0,28 мг/кг; для кластера S2 – 0,23 мг/кг; S3 – 0,28, S4 – 0,25, S5 – 0,44, для кластера S6 это значение будет равно 0,32 мг/кг; S7 – 0,23, для кластеров S8 и S9 соответственно 0,11 и 0,18 мг/кг.

Содержание цинка во всех кластерах значительно выше фонового уровня. Только в кластере S1, где самый низкий средний уровень содержания Zn, превышение фонового уровня составляет 34,1%. Самый высокий коэффициент концентрации в кластере S6. Там он равен 446,5%. В остальных кластерах средний уровень превышает фоновый в 2–3,5 раза.

В кластере S6 содержание свинца выше фонового более чем в 3,2 раза и приближается к предельно допустимым нормам. Высокое содержание свинца в почве городов кластера S7 превышает фоновое значения более чем в 2,7 раза.

Таблица 2 – Средний коэффициент концентрации по уровню загрязнения тяжелыми металлами и другими ингредиентами почв городов

Показатель	Кластер S1	Кластер S2	Кластер S3	Кластер S4	Кластер S5	Кластер S6	Кластер S7	Кластер S8	Кластер S9
Средний коэффициент концентрации, %	111,5	105,6	121,6	120,5	126,1	134,0	133,8	103,2	135,5

В городах кластера S1 среднее содержание свинца почти равно фоновому. В кластере S2 средний уровень выше фонового на 28,0%, в кластере S3 – на 80,5%, в S4 – на 47,6%. Не являются исключением кластеры S5, S8 и S9, для которых превышение фонового значения составляет, соответственно, 65,9%, 95,1% и 89,0%.

Самый высокий уровень концентрации никеля в кластере S6. Коэффициент концентрации Ni для этого кластера равен 228,9%, т.е. превышение фонового уровня составляет 2,289 раза. Самый низкий уровень содержания никеля характерен для кластера S8, что соответствует превышению фона на 15,0%. Для остальных кластеров коэффициент концентрации никеля колеблется в пределах от 121,1% до 168,4%.

Для Mn характерен невысокий уровень содержания в почвах выделенных кластеров.

Содержание сульфатов в почвах обследуемых городов находится примерно на уровне фонового значения. Только в кластере S9 превышение фонового уровня содержания сульфатов составляет 66,3%; в кластере S7 он превышает на 24,4%. Для остальных кластеров характерен коэффициент концентрации сульфатов в диапазоне от 91,8% до 103,8%.

Содержание нитратов в почве большинства кластеров значительно ниже уровня фона.

Для определения наиболее загрязненного тяжелыми металлами, сульфатами и нитратами кластера был рассчитан средний коэффициент концентрации по всем ингредиентам (табл. 2).

Анализируя полученный результат, можно сделать вывод, что наиболее загрязненной является почва кластера S9, поскольку в среднем превышение фонового значения всех ингредиентов в нем составляет 35,5%.

Вторым по уровню загрязнения выступает кластер S6. Здесь среднее превышение фонового значения составляет 34,0%.

На третье место вышел кластер S7. Для него характерно превышение фонового уровня по всем ингредиентам в среднем на 33,8%.

Кластерный анализ позволил проанализировать состояние загрязнения почв и на его основе измерить вариацию признаков, выделив среди них наиболее актуальные.

Предлагаемый способ кластерного анализа на основе относительных метрик обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичными методами многомерных исследований. Он отличается простотой и надежностью вычислений при одновременной практической значимости, что продемонстрировало проведенное исследование.

При ограниченных финансовых ресурсах, предназначенных для экологических целей, данный метод позволит принять обоснованное решение в вопросах очередности вложения инвестиций для улучшения среды обитания населения и состояния почв в регионах страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроэкологические и экономические основы рационального использования торфяных почв Беларуси / В.И. Белковский [и др.]. – Минск: БГЭУ, 2001. – 180 с.
2. Богдевич, И.М. Экологическое состояние почв Беларуси / И.М. Богдевич, Н.И. Смеян, В.А. Щербаков // Международный аграрный журнал. – 2000. – №5. – С. 26–33.
3. Головатый, С.Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С.Е. Головатый. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2002.
4. Гурова, Т.Ф. Основы экологии и рационального природопользования: учеб. пособие / Т.Ф. Гурова, Л.В. Назаренко. – М.: Изд. Оникс, 2005. – 224 с.
5. Теоретические и прикладные проблемы геоэкологии: материалы II Международной научной конференции, Минск 15–18 ноября 2005 г. / БГУ, науч. редактор А.Н. Витченко. – Минск: БГПУ, 2005. – 186 с.
6. Трушина, Т.П. Экологические основы природопользования / Т.П. Трушина. – Изд. 3-е, доп. и пер. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 416 с.
7. Шимова, О.С. Экономика природопользования: учеб. пособие / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 377 с.
8. Лыч, Г.М. Экологическая безопасность: социально-экономические аспекты / Г.М. Лыч, З.Г. Патева, В.Е. Левкевич, Э.В. Хоробрых; науч. ред. Г.М. Лыч. – Минск: БИП-С, 2003. – 174 с.

РЕЗЮМЕ

Под влиянием человеческой деятельности ускоряется развитие неблагоприятных процессов, многие из которых представляют опасность для здоровья человека. К их числу относятся загрязнение земель тяжелыми металлами.

В условиях ограниченности финансовых ресурсов, отводимых на экологические цели, возникает вопрос о приоритетных направлениях этих вложений.

Использование кластерного анализа позволяет принять обоснованное решение в вопросах очередности вложений инвестиций для улучшения среды обитания населения и состояния почв в регионах страны.

* Статья поступила в редакцию 20 декабря 2008 г.