

УДК 631.618 : 633.2.031

© Г. А. Задорожная<sup>1</sup>, О. Н. Кунах<sup>2</sup>, А. В. Жуков<sup>1</sup>

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕРНОВО-ЛИТОГЕННЫХ ПОЧВ  
НА КРАСНО-БУРЫХ ГЛИНАХ**

<sup>1</sup>Днепропетровский государственный аграрный университет

49600, г. Днепропетровск, ул. Ворошилова, 25; e-mail: zhukov\_dnepr@rambler.ru

<sup>2</sup>Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

49050, г. Днепропетровск, пр. Гагарина, 72

**Задорожная Г. А., Кунах О. Н., Жуков А. В. Пространственная организация дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах.** – Исследована пространственная организация дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах участка рекультивации Орджоникидзевог ГОК по данным об изменчивости твердости, собранным по регулярной сетке. С помощью кластерного анализа выделено три основных группы (кластера) почвенных профилей с однотипной сменой твердости – А, В, С. Кластеры В и С наиболее близки по своим свойствам твердости, а кластер А значительно отличается от кластера С и в меньшей степени – от кластера В. Показано, что кластер В является переходной формой между А и С. Кластеры рассматриваются в качестве педонов. Предложено использовать методы ландшафтной экологии для описания размеров и формы педонов выделенных кластеров, компактности и агрегации их расположения. Даны количественные оценки границ педонов. Выявление меры взаимного влияния элементов почвенной структурной неоднородности проведено с помощью модели Михаэлиса-Ментен.

*Ключевые слова:* геостатистический анализ, педоны, пространственная организация.

### **Введение**

Морфологическое строение почвы является результатом превращения исходной горной породы в новое физическое естественноисторическое природное тело – почву, с присущими ей объемом и границами. При определении границ почвы как тела природы наиболее надежным является путь определения почвенного тела как индивидуума, а границы – как поверхности раздела между почвенными индивидуумами [3-8]. Почвоведы, использовавшие идею о неоднородности и вариабельности свойств почвенного тела, неоднократно возвращались к теоретическому анализу концепции почвенного индивидуума, уточняя и обосновывая ее новыми аргументами. Вводились искусственно ограничивающие параметры определенной площади при смешивании воедино представления о почвенном индивидууме как о реальном природном теле, как о единице почвенной классификации и как географической единице почвенного покрова [14]. Почвенный индивидуум определяется как подсистема в биогеоценозе, в которой наблюдается взаимное влияние почвенных масс, ведущее к дифференциации процессов превращения и перемещения веществ и возникновению горизонтальной неоднородности свойств [7]. Горизонтальная неоднородность почвенных свойств рассматривается как закономерное изменение свойств почвенного покрова и четко прослеживается в процессе изучения рекультивационных земель, которые созданы в результате трансформации природных ландшафтов при добыче полезных ископаемых открытым способом [13].

Ф. И. Козловский [8] считает, что почвенный индивидуум, определенный путем анализа пространственной изменчивости свойств почвы, соответствует понятию педон. Для определения горизонтальных (боковых) границ или размеров педона предлагается применять сложный статистический анализ с использованием теории случайных функций, что предполагает большой объем полевых (закладка достаточно представительных длинных траншей со взятием множества образцов через короткие интервалы), аналитических и вычислительных работ, практически неосуществимых в обычных почвенных исследованиях [14].

Достаточно удобным инструментом для изучения неоднородности строения почвенной массы есть измерение твердости почвы пенетрометром, с помощью которого можно быстро получить данные о твердости почвы на сравнительно большой территории [11]. Твердость почвы – это мера её механической проницаемости. Показатели твердости позволяют

установить границы неоднородности почвы и выделить почвенный индивидуум на фоне ритмичности пространственного варьирования этого признака [2].

Целью настоящего исследования является изучение пространственной организации дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах участка рекультивации по данным об изменчивости их твердости.

В задачи исследования входило: 1) собрать и классифицировать данные твердости дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах; 2) определить количественные характеристики педонной организации исследованного почвенного покрова; 3) найти способ установления меры потенциального взаимодействия и взаимного влияния элементов почвенной структурной неоднородности.

### **Материал и методы исследования**

Работы проведены на научно-исследовательском стационаре Днепропетровского государственного аграрного университета в г. Орджоникидзе. Отбор проб осуществлялся на варианте техноземов, сформированных на красно-бурых глинах.

Полигон представлен 8 трансектами, каждая из которых состоит из 20 точек отбора проб. Трансекты расположены в направлении с запада на восток с интервалом 1,5 м. Точки отбора проб также находятся с интервалом 1,5 м. Таким образом, экспериментальный полигон представляет собой регулярную сетку с шириной ячейки 1,5 м. Длина большей стороны полигона равна 28,5 м, меньшей – 10,5 м.

Измерение твердости почв производилось в полевых условиях с помощью ручного пенетрометра Eijkelkamp на глубину до 50 см с интервалом 5 см. Средняя погрешность результатов измерений прибора составляет  $\pm 8\%$ . Измерения производились с конусом с размером поперечного сечения 1 см<sup>2</sup>. В пределах каждой ячейки измерения твердости почвы производились в однократной повторности. Измерения проведены 22 июня 2011 г.

При статистических расчетах была использована программа Statistica 7.0, для двухмерного картографирования и оценки геостатистических показателей – программы Surfer 8.0 и ArcMap 10.0, для оценки характеристик педонов – программа Fragstat 3.4.

### **Результаты и их обсуждение**

В процессе исследования был использован кластерный анализ – многомерная статистическая процедура, собирающая данные, которые содержат информацию о выборке объектов, и упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы (кластеры). Главная цель кластерного анализа – нахождение групп схожих объектов в выборке. В нашем случае кластерный анализ может быть проведен на основании векторов данных, которые описывают твердость почвы в точках на поверхности и ниже на разных глубинах (рис. 1).

При проведении кластерного анализа был использован метод Варда и коэффициент корреляции Пирсона. Коэффициент корреляции Пирсона, как мера связи, очень чувствителен к форме изменчивости признака, а не к его абсолютному значению, поэтому подходит для сравнения объектов временной или пространственной динамики. Результаты кластерного анализа позволили установить группы почвенных профилей с однотипной сменой твердости. Выделено три основных группы (кластера) почвенных профилей – *A*, *B*, *C*.

Усредненные профили, характерные для каждого кластера, представлены на рис. 2.

Видно, что для кластера *A* характерно увеличение твердости почвы с глубиной, причем до глубины 25 см от уровня почвы нарастание исследуемого показателя идет стремительно, далее – с меньшей интенсивностью (рис. 2, *A*). Профиль кластера *B* характеризуется наличием локального максимума твердости почвы в горизонте 25-35 см. При последующем углублении почва становится менее твердой (рис. 2, *B*). Для кластера *C* характерно увеличение показателя твердости почвы вниз по профилю, но это увеличение идет более плавно, чем в профиле кластера *A* (рис. 2, *C*).

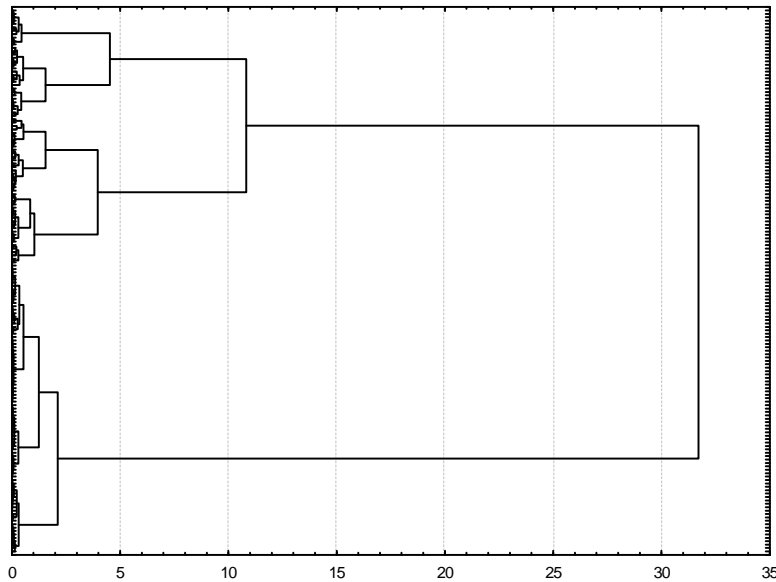


Рис. 1. Иерархическая дендрограмма образцов по данным твердости дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах (метод Варда, коэффициент корреляции Пирсона).

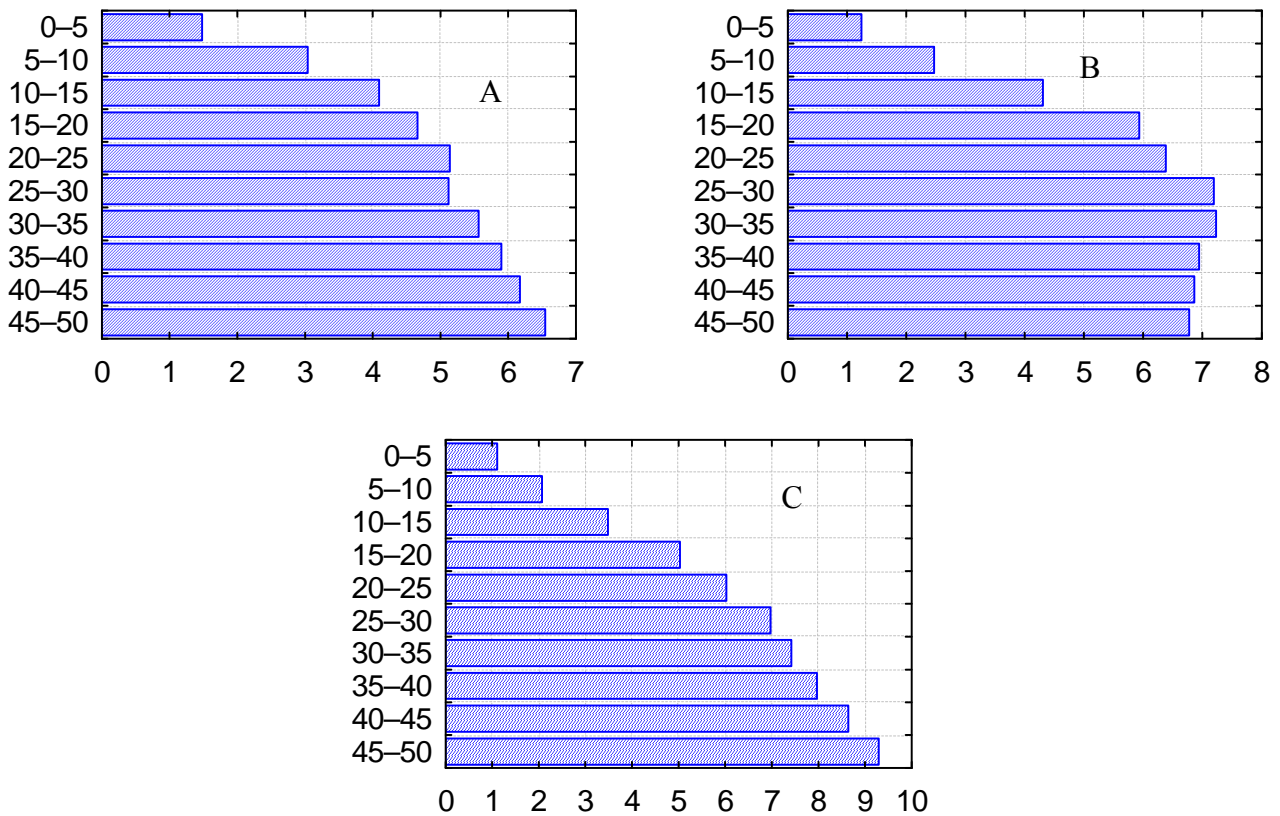


Рис. 2. Изменение твердости дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах (в МПа) в зависимости от глубины для кластеров А, В и С.

Условные обозначения: по оси абсцисс – твердость почвы, Мпа; по оси ординат – глубина почвы, см.

Для поиска механизма, определяющего упорядоченность системы, нужно представить эту систему в пространстве переменных, взаимоотношения которых определяют данный процесс. Дискриминантный анализ используется для принятия решения о том, какие переменные различают (дискриминируют) две или более возникающие совокупности (группы), а также для классификации наблюдений в различные группы. Результаты дискриминантного анализа полученных в ходе исследования данных представлены на рис. 3.

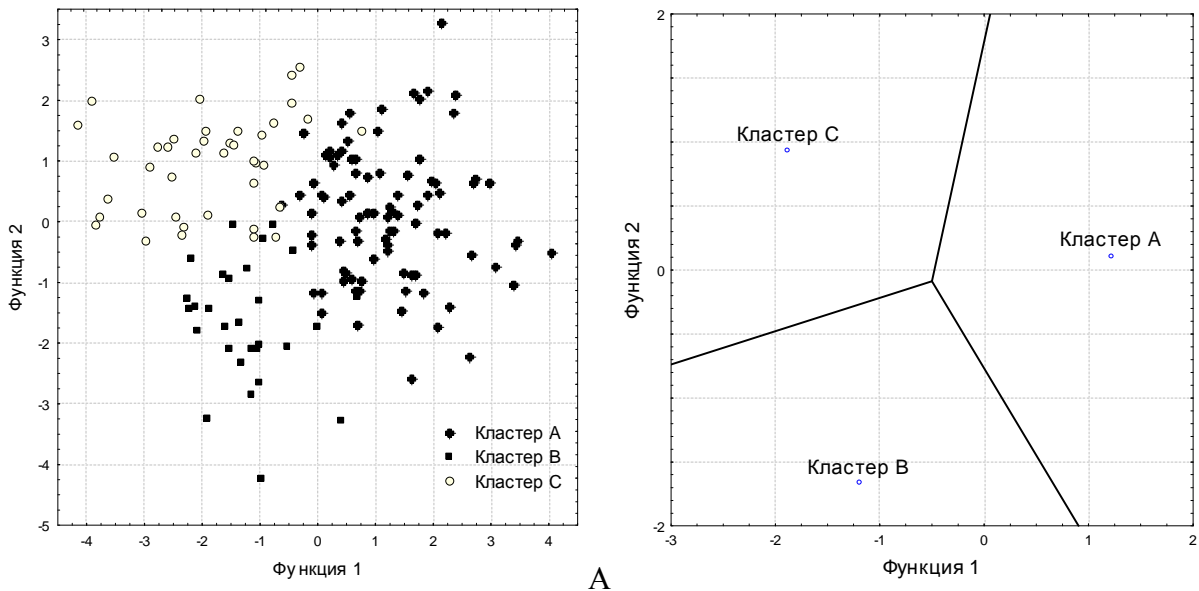


Рис. 3. Расположение кластеров в пространстве первых двух дискриминантных функций.

Условные обозначения: А – расположение экспериментальных точек в пространстве первых двух дискриминантных функций; В – расположение центроидов кластеров в том же пространстве

Дискриминантный анализ полученных данных позволил установить, что показатели твердости четко дифференцируют выделенные кластеры. Взглянув на средние функций для всех совокупностей, мы можем определить характер дискриминации для каждой дискриминантной функции, а построив значения, которые принимают обе дискриминантные функции, можно посмотреть, как две функции дискриминируют между кластерами (табл. 1).

Таблица 1

**Факторная структура дискриминантных функций (коэффициенты корреляции значений твердости почвы на различных глубинах и дискриминантных функций)**

Твердость на глубине	Функция 1	Функция 2
0-5 см	0,16	-0,15
5-10 см	0,18	-0,12
10-15 см	0,03	-0,21
15-20 см	-0,24	-0,34
20-25 см	-0,25	-0,11
25-30 см	-0,44	-0,17
30-35 см	-0,45	-0,05
35-40 см	-0,41	0,18
40-45 см	-0,52	0,33
45-50 см	-0,47	0,50

Функция 1 обладает наибольшей в пределах данной структуры данных дискриминирующей способностью и, в основном, дискриминирует между кластером А и объединением кластеров В и С. Из приведенных в таблице значений видно, что наибольшую информационную значимость функция 1 приобретает при анализе значений твердости почвы от 25 до 50 см ниже поверхности почвы. По вертикальной оси (функция 2) заметно смещение точек кластера В вниз относительно центральной линии и точек кластера С. Анализируя ряд значений дискриминирующей функции 2 видим, что кластеры В и С наиболее различны в формировании твердости слоев 15-20 и 40-50 см от поверхности почвы. То есть наиболее

отчетливо заметны различия между обнаруженными структурными образованиями в нижних исследованных слоях.

Дистанция Махаланобиса – это расстояние между признаками в гипотетическом многомерном пространстве. Она является обратной величиной сопряженности – меры потенциального взаимодействия или связи между признаками. С помощью дистанции Махаланобиса между центроидами кластеров может быть установлено их взаимное отношение: чем больше расстояние, тем меньше потенциальное физическое взаимодействие (табл. 2).

Таблица 2

**Расстояние Махаланобиса между центроидами кластеров дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах (верхняя полуматрица) и *p*-уровни значимости различий (нижняя полуматрица) по данным дискриминантного анализа**

Кластер	A	B	C
A		7,42	11,38
B	0,00		6,21
C	0,00	0,00	

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что наибольшее расстояние Махаланобиса между центроидами кластеров *A* и *C*, наименьшее – между *B* и *C*. Обнаруженные закономерности подтверждают результаты анализа факторной структуры дискриминантных функций и свидетельствуют о том, что кластеры *B* и *C* наиболее близки по своим свойствам твердости, а кластер *A* значительно отличается от кластера *C* и в меньшей степени от кластера *B*, который является переходной формой между *A* и *C*.

Расстояния Махаланобиса от каждого образца до центроидов кластеров можно использовать для построения карты расположения кластеров в двумерном пространстве (рис. 4).

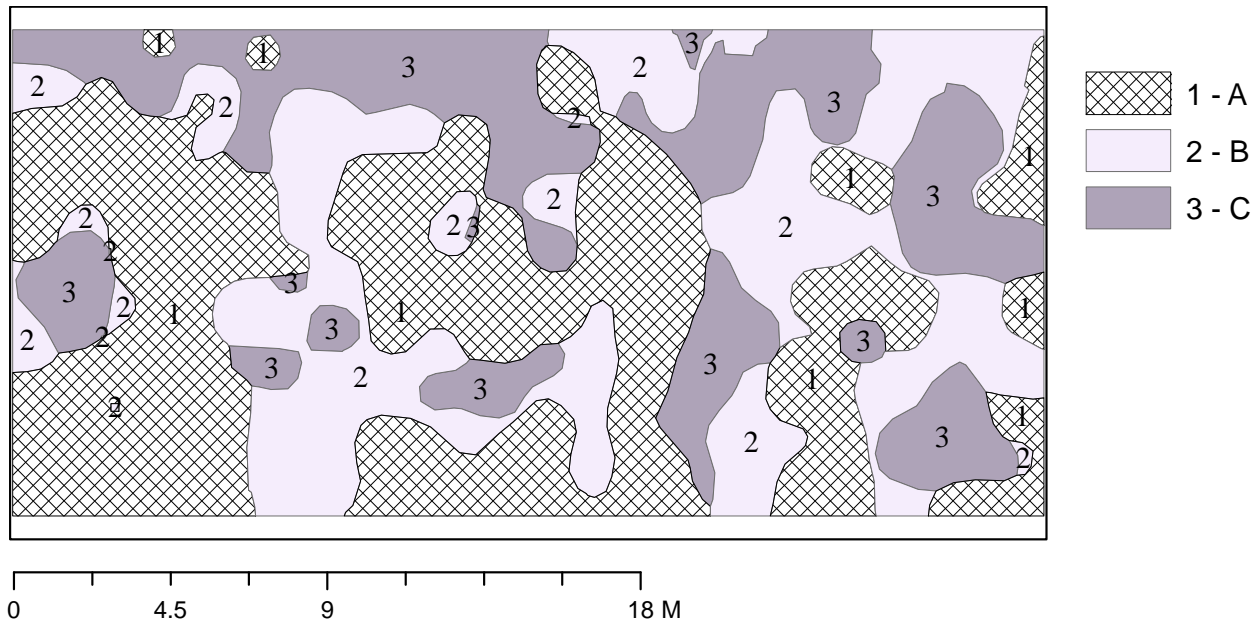


Рис. 4. Расположение педонов дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах в двумерном физическом пространстве.

Используя данные дискриминантного анализа и визуального анализа карты расположения педонов, можно предполагать, что почвообразовательный процесс в данном случае идет по пути формирования участков с повышенной твердостью на глубине 25-35 см от поверхности (кластер *B*). Эти образования переходят в участки с дальнейшим нарастанием

твердости с глубиной (кластер *C*), приобретая тем самым округлую форму. Описанные образования находятся в почвенном материале меньшей твердости (кластер *A*) и, возможно, представляют собой противозерозионные и противооползневые факторы устойчивости.

Количественные характеристики педонной организации дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Размерные индексы пространственной организации педонной структуры дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах**

Индекс	Условное обозначение	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>	
		Среднее	CV, %	Среднее	CV, %	Среднее	CV, %
Площадь педонов, м <sup>2</sup>	CA	180,18	–	119,00	–	106,83	
Ср. площадь педона	AREA_MN	20,02	141,33	8,50	176,04	8,22	20,02
Доля от площади, %	PLAND	44,38	–	29,31	–	26,31	–
Число педонов	NP	9,00	–	14,00	–	13,00	–
Плотность педонов, шт./10 м <sup>2</sup>	PD	0,22	–	0,34	–	0,32	–
Индекс наибольшего фрагмента, %	LPI	18,79	–	11,39	–	9,06	–

Наибольший размер имеют педоны типа *A*, площадь которых составляет 20,2 м<sup>2</sup>. Педоны *B* и *C* занимают значительно меньшую площадь – в среднем каждый из них располагается на площади 8,50 и 8,22 м<sup>2</sup> соответственно. Размеры педонов типа *A* и *B* подвержены значительным колебаниям – коэффициент вариации площади одного педона составляет 141,33 и 176,04% соответственно. Размеры педонов типа *C* отличаются стабильностью – коэффициент вариации этого показателя составляет 20,02%.

Размеры педонов обратно пропорциональны их числу: наименьшее число – 9 (а следовательно, и плотность – 0,22/10 м<sup>2</sup>) характерно для педонов типа *A*, которые имеют наибольшие размеры. Плотность педонов типа *B* и *C* практически не различается и составляет 0,34 и 0,32/10 м<sup>2</sup> соответственно.

Индекс наибольшего фрагмента (LPI) указывает на долю в процентах, которую занимает наибольший педон данного типа. Соотношение этих показателей повторяет пропорцию средних размеров педонов.

Индексы формы педонов представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Индексы формы педонов дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах**

Индекс	Условное обозначение	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>	
		Среднее	CV, %	Среднее	CV, %	Среднее	CV, %
Ландшафтный индекс формы	LSI	4,57	–	6,41	–	5,13	–
Радиус вращения, м	GYRATE_MN	1,65	85,04	1,09	116,45	1,16	90,35
Отношение периметра к площади	PARA_MN	2,94	49,84	5,85	76,66	4,18	89,52
Индекс формы	SHAPE_MN	1,61	33,49	1,73	40,78	1,48	29,62
Фрактальная размерность	FRAC_MN	1,23	39,96	0,02	256,77	1,11	53,98
Индекс описанной окружности	CIRCLE_MN	0,50	37,54	0,60	22,91	0,52	40,34

Ландшафтный индекс формы (LSI) представляет собой нормализованное отношение длины границы (т.е. периметра педона) к его площади, в котором общая протяженность границы сравнивается со структурой стандартной (квадратной) формы такой же площади без

внутренних границ. Значение индекса, которое превышает единицу, свидетельствует о повышенном уровне внутренних границ и соответствует уменьшающейся агрегации типов педонов. Наибольшим значением этого индекса характеризуется педон *B* (6,41), далее следует педон *C* (5,13); ряд заканчивает педон *A* (4,57).

Радиус вращения – это мера протяженности каждого педона. Он оценивается как среднее расстояние между точками педона. По этому показателю педоны отличаются гораздо меньше, чем по площади.

Показатель отношения периметра к площади (PARA\_MN) зависит как от формы, так и от размера объекта. При увеличении размера эта метрика имеет тенденцию к снижению. Индекс формы (SHAPE\_MN) так же, как и LSI, представляет собой нормализованное отношение периметра к площади педона по сравнению со стандартной формой той же площади, но в значительно меньшей мере зависит от размера объекта. По этой метрике педоны значительно меньше различаются между собой. Наиболее компактными являются педоны типа *C*, а наименее – типа *B*.

В педоне можно выделить сердцевинную часть (ядро) и периферийную часть. Ядро обладает наиболее характерными свойствами педона как целостного образования, а периферия испытывает влияние окружения, поэтому в ней проявляются как свойства окружающих педонов, так и так называемые маргинальные эффекты. Отношение площади ядра педона к площади периферии является интегральным показателем, который зависит от формы и площади педона, а также от интенсивности маргинальных эффектов. При прочих равных условиях усложнение формы педона приводит к уменьшению относительной площади сердцевинной части. Увеличение размеров педона сопряжено с увеличением размеров сердцевинной части, а мощность маргинальных эффектов уменьшает относительную площадь сердцевинной части.

Количественной характеристикой маргинальности является матрица, в которой указывается, на какую протяженность один педон оказывает влияние на свойства другого педона. Та часть, которая не испытывает влияния, называется сердцевинной частью, или ядром.

Для количественной характеристики взаимного влияния педонов нами предложено рассмотреть, как изменяется в географическом пространстве удаление экспериментальных точек от расположения центроидов кластеров в пространстве дискриминантных функций, которое оценено с помощью расстояния Махаланобиса. Это расстояние в дискриминантном анализе является критерием отнесения экспериментальной точки к тому или иному кластеру: наблюдение относится к тому кластеру, расстояние от центроида которого меньше. Однако расстояние от центроида «чужого» кластера можно рассматривать как степень влияния этого кластера на данную точку – чем меньше расстояние, тем больше влияние. Можно предполагать, что с удалением экспериментальной точки от границы с чужим кластером его влияние будет уменьшаться, а дистанция Махаланобиса – увеличиваться. При достижении некоторого порогового расстояния от фокального кластера в географическом пространстве дистанция Махаланобиса не будет отличаться статистически от среднего значения в пределах данного кластера. Такую зависимость можно описать с помощью уравнения Михаэлиса-Ментен:

$$D_i = V_m * \text{Dist}_i / (K_m + \text{Dist}_i),$$

где  $D_i$  – расстояние Махаланобиса от центроида фокального кластера  $i$  до точки соседнего кластера;  $\text{Dist}_i$  – расстояние до точки соседнего кластера от границы с фокальным кластером;  $V_m$  и  $K_m$  – параметры модели.

Для дистанции Махаланобиса от центроида фокального кластера до точек соседнего кластера можно рассчитать статистические характеристики. Точка пересечения кривой Михаэлиса-Ментен с нижним 95%-м доверительным интервалом дистанции Махаланобиса, вычисленной для точек соседнего кластера, указывает на границу между периферийной частью педона, подверженной воздействию фокального кластера и его ядром (рис. 5).

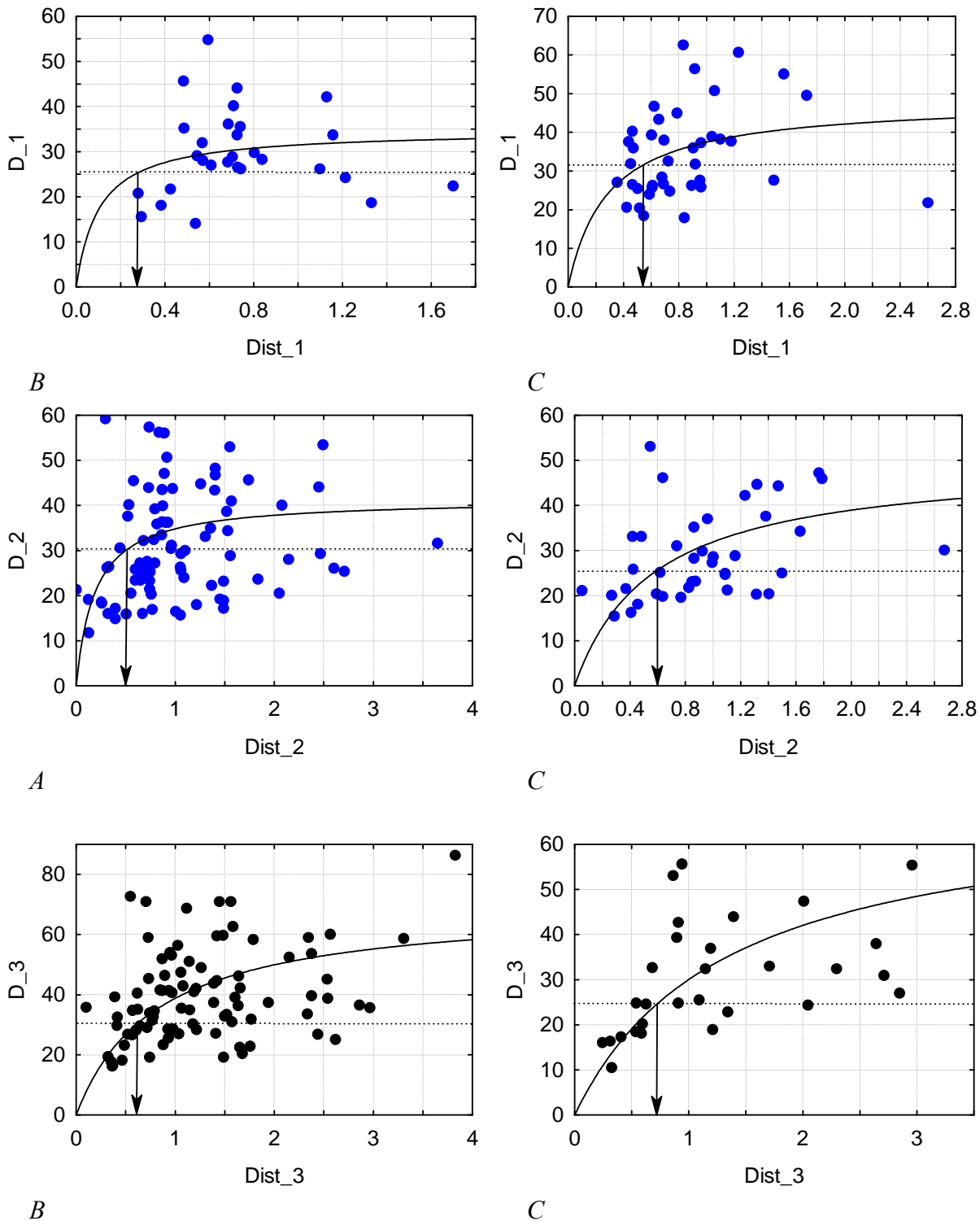


Рис. 5. Оценка границы между периферийной частью педонов и его ядром.

Условные обозначения: A, B, C – соседние кластеры; по оси абсцисс – географическое расстояние (в метрах) от границы с фокальным кластером (Dist\_1 – с A, Dist\_2 – с B, Dist\_3 – с C); по оси ординат – расстояние Махаланобиса от центроидов кластеров (D\_1 – от центроида A, D\_2 – от центроида B, D\_3 – от C). Сплошная линия – аппроксимация зависимости уравнением Михаэлиса-Ментен; горизонтальная штрих-пунктирная линия – 95%-й доверительный интервал (нижняя граница) дистанции от центроида.



Как видно из данных, приведенных на рис. 5, дистанция Махаланобиса закономерно увеличивается при удалении от фокального кластера, что свидетельствует о снижении его влияния на соседний кластер. После преодоления некоторого расстояния дальнейшее удаление от границы не сказывается на значении дистанции Махаланобиса. Значения этой метрики вблизи границы между фокальным и соседним кластерами статистически достоверно меньше, чем в целом в пределах соседнего кластера. Абсцисса точки на кривой Михаэлиса-Ментен, где она пересекается с горизонталью нижней границей доверительного интервала, маркирует степень проникновения достоверного воздействия фокального кластера на соседний кластер в географическом пространстве. На основании этих данных была составлена матрица маргинальности педонов (табл. 5).

Таблица 5

**Матрица маргинальности (расстояние в метрах, в пределах которого фокальный кластер оказывает влияние на соседние кластеры)**

Педоны		Соседние		
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Фокальные	<i>A</i>	0,00	0,27	0,54
	<i>B</i>	0,53	0,00	0,59
	<i>C</i>	0,62	0,73	0,00

На наибольшее расстояние на соседние педоны оказывает влияние педон *C* – на 0,62 м в пределах педона *A* и 0,73 м – в пределах педона *B*. Необходимо отметить, что матрица не симметричная. Обратное влияние этих кластеров на педон *C* меньше – 0,54 и 0,59 м соответственно. Нет симметрии и при взаимодействии педонов *A* и *B*: педон *A* влияет на педон *B* на глубину 0,27 м, а педон *B* на педон *A* – на 0,53 м.

Матрица маргинальности позволяет оценить значение индексов маргинальности, которые характеризует взаимное расположение и степень взаимного проникновения педонов между собой (табл. 6).

Таблица 6

**Индексы маргинальности педонной структуры дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах**

Индекс	Условное обозначение	<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C</i>	
		Среднее	CV, %	Среднее	CV, %	Среднее	CV, %
Общая площадь ядер, м <sup>2</sup>	TCA	128,00	–	35,00	–	28,00	–
Доля площади ядер, %	CPLAND	31,49	–	8,69	–	6,90	–
Число отдельных ядер	NDCA	9,00	–	19,00	–	10,00	–
Плотность ядер, т./10 м <sup>2</sup>	DCAD	0,22	–	0,47	–	0,25	–
Площадь ядер, м <sup>2</sup>	CORE_MN	14,00	151,16	3,00	199,47	2,00	14,00
Площадь отдельных ядер, м <sup>2</sup>	DCORE_MN	14,00	149,15	2,00	129,22	3,00	14,00
Индекс площади ядра, %	CAI_MN	45,65	58,75	11,69	121,92	12,58	45,65

Наибольшую площадь занимают ядра педона *A*, гораздо меньше площадь ядер педонов ядер *B* и *C*. Ядерная часть педона *A* составляет 31,49% от всей площади участка. Для педонов *B* и *C* этот показатель гораздо меньше – 8,69 и 6,90% соответственно. От площади самих педонов ядерная часть составляет 45,65% для педона *A*, 11,69% – для педона *B* и 12,58% – для педона *C*. Наибольший коэффициент вариации этого показателя характерен для педона *B* – 121,92%, что свидетельствует о значительной пространственной нестабильности данного почвенного образования.

В пределах целостного участка, занятого одним педоном, может не быть ядер, ядро может быть одно или их может быть несколько. Плотность обособленных ядер наибольшая

для педона *B* ( $0,47/10 \text{ м}^2$ ), відповідно, їх площа – найменша. Це також підтверджує представлення про більш високу динамічність педона *B*. Для педонів *A* і *C* густина обособлених ядер приблизно однакова –  $0,22$  і  $0,25/10 \text{ м}^2$  відповідно.

Такі значення індексів маргінальності дозволяють зробити припущення, що педони *B* і *C* є кількісними проявленнями одного якісно однорідного утворення. Незважаючи на те, що хмара кластерів, на основі яких виділені педони *B* і *C*, достовірно відрізняється за позиціями непространственої статистики, характер пространственого розміщення і ступінь взаємного впливу в пространстві дають основи до виділення двох педонів – *A* і *BC*, останній з яких представлений кількісними варіаціями *B* і *C*.

Установлення факта статистичної неоднорідності розподілу твердості доводить існування структурної закономірності вивченого ґрунтового покриву. Доказателі множинності будови і неслучайного характеру варіювання властивостей ґрунту говорять про пространственої неоднорідності ґрунту як наслідка її природи при ідентичності факторів ґрунтоутворення [10]. В результаті наших досліджень встановлено існування груп схожих ґрунтових об'єктів з однотипною зміною твердості в профілі, які можна достатньо чітко класифікувати. Дані фізичні утворення мають певний розмір, характерну форму, межі і зв'язаність властивостей. Знайдені нами ґрунтові структури, а також правила їх пространственої змінливості означають, що їх формування є результатом дії одного або комбінації декількох фізичних факторів. Виявлені віртуальні фактори представляють собою в дійсності деякі елементарні екосистемні процеси, в своїй сукупності визначають пространственої варіювання вивченої властивості. Суть подібних процесів полягає в обміні речовиною і енергією між різними фазами як всередині ґрунту, так і між ґрунтом і зовнішнім середовищем. А. А. Роде [12] запропонував називати сукупність цих процесів життям ґрунту. Більшість її складових елементарних ґрунтових процесів має циклічний, коливаючий або потоковий характер, різні, звичайно вкладені один в одного ритми: добові, сезонні, річні і різної тривалості багаторічні. Через неповну замкнутість і неповну оборотності циклів функціонування вони утворюють повний спектр залишкових продуктів: газообразних, рідких і твердих. В відмінність від газових і рідких продуктів, які відносно швидко оновлюються і виводяться з ґрунту, залишкові твердофазні продукти утримуються і накопчуються в ґрунтовій системі. Багаторазове повторення таких мікропроцесів на протязі тривалого функціонування ґрунтовій системі (десятки, сотні, тисячі і більше років) поступово призводять до формування добре виражених педогенних ознак в твердій масі ґрунту, які повністю визначено виявляються і морфологічно, і аналітично [12].

В нашому дослідженні ми вивчали структурну організацію дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах ділянки рекультивувати. Територія для дослідження вибрана не випадково: на рекультивувати землях, які створені в результаті трансформації природних ландшафтів при видобутку корисних копалин відкритим способом, процеси ґрунтоутворення характеризуються значущою пространственої неоднорідністю. По-видимому, це пов'язано з глинистою природою материнської породи і молодим віком досліджуваного ґрунту, в якій велика частка літопамяти [12]. Процеси зміни глинистого матеріалу в ході ґрунтоутворення відбуваються в основному під впливом гравітаційного, атмосферного і інших абіотических факторів. Механізми формування знайдених структурних утворень можуть бути обумовлені процесами зволоження – висихання, промерзання – оттаивання ґрунту, які при важкому гранулометричному складі можуть призводити до розвитку педотурбаційних процесів. Нисходяща міграція незрушених глинистих частинок по тріщинах і порам під впливом гравітаційних сил і їх переотложення в нижележачих горизонтах – лессиваж – призводить до накопчення глинистого матеріалу в порожнинах і тріщинах. На поверхні структурних окремих

глинистый материал разрушается, а отдельные фрагменты механически «разорванных» кутан оказываются вовлеченными во внутренние части педов [9]. Возможно, именно так формируется регулярная структурная неоднородность дерново-литогенных почв на глинах, которую мы наблюдали в нашем исследовании. Показатель твердости почвы, на наш взгляд, является адекватным диагностическим признаком для определения границ структурной неоднородности и может быть предложен в виде стандартной методической процедуры для выделения педона.

Можно отметить, что определение почвенного индивидуума до сих пор остается неясным, хотя концепция педона как наименьшего целостного объема почвенного тела представляется вполне оправданной. На основании критического анализа имеющихся материалов и следуя докучаевскому учению о почве как самостоятельном естественноисторическом теле природы, можно считать наиболее приемлемым в настоящее время следующее определение: почвенный индивидуум (педон, тессера, почвенная особь, элементарная единица почвы) – это минимальный объем почвы, горизонтальные размеры которого достаточно большие, чтобы иметь полный спектр варибельности соотношений генетических горизонтов, соответствующий минимальной горизонтальной неоднородности почвы по диагностическим признакам.

### Выводы

1. Кластерный анализ позволил выделить три основных группы (кластера) почвенных профилей с однотипной сменой твердости – *A*, *B*, *C*. Кластеры *B* и *C* наиболее близки по своим свойствам твердости, а кластер *A* значительно отличается от кластера *C* и в меньшей степени от кластера *B*, который является переходной формой между *A* и *C*.

2. С помощью количественных методов ландшафтной экологии можно четко описать размер и форму педонов выделенных кластеров. Наибольший размер имеют педоны типа *A*, площадь которых составляет 20,2 м<sup>2</sup>; педоны данного типа наиболее агрегированы. Педоны *B* и *C* занимают значительно меньшую площадь – в среднем каждый из них располагается на площади 8,50 и 8,22 м<sup>2</sup> соответственно. Размеры педонов типа *A* и *B* подвержены значительным колебаниям – коэффициент вариации площади одного педона составляет 141,33 и 176,04% соответственно. Педоны *B* наименее компактны, характеризуются повышенным уровнем внутренних границ и наименьшей агрегацией. Размеры педонов кластера *C* отличаются стабильностью ( $CV = 20,02\%$ ); эти педоны являются наиболее компактными.

3. В качестве способа характеристики взаимного расположения и установления меры взаимного влияния элементов почвенной структурной неоднородности может быть использовано расстояние Махаланобиса как оценка отнесения экспериментальной точки к тому или иному кластеру. Зависимость описанная с помощью уравнения Михаэлиса-Ментен даёт основания к выделению двух педонов – *A* и *BC*, последний из которых представлен количественными вариациями *B* и *C*.

### Список литературы

1. Жуков О. В. Твердость дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках / О. В. Жуков, О. М. Кунах // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011. – № 1. – С. 63–69.
2. Задорожна Г. О. Просторова організація дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах / Г. О. Задорожна // Біологічний вісник МДПУ. – 2012. – № 1. – С. 48–57.
3. Карпачевский Л. О. О динамике строения почвенного покрова в лесных биогеоценозах / Л. О. Карпачевский, Л. Б. Холопова, А. П. Просвирина // Почвоведение. – 1980. – № 5.
4. Козловский Ф. И. Почва как зеркало ландшафта и концепция информационной структуры почвенного покрова / Ф. И. Козловский, С. В. Горячкин // Почвоведение. – 1996. – № 3. – С. 288–297.

5. Козловский Ф. И. Почвенный индивидуум и элементарный анализ структуры почвенного покрова / Ф. И. Козловский, Н. П. Сорокина // Почвенные комбинации и их генезис. – М.: Наука, 1972.
6. Козловский Ф. И. Современное состояние и пути развития теории структуры почвенного покрова / Ф. И. Козловский, С. В. Горячкин // Почвоведение. – 1993. – № 7. – С. 31–43.
7. Козловский Ф. И. Современные естественные и антропогенные процессы эволюции / Ф. И. Козловский. – М.: Наука, 1991. – 196 с.
8. Козловский Ф. И. Теория и методы изучения почвенного покрова / Ф. И. Козловский. – М.: ГЕОС, 2003. – 536 с.
9. Кремер А. М. Микростроение сильноподзолистой почвы и передвижение глинистых суспензий / А. М. Кремер // Почвоведение. – 1969. – № 6. – С. 28–36.
10. Медведев В. В. Неоднородность как закономерное проявление горизонтальной структуры почвенного покрова / В. В. Медведев // Грунтознание. – 2010. – Т. 11, № 1–2. – С. 6–15.
11. Медведев В. В. Твердость почв / В. В. Медведев. – Харьков: Изд. КГ1 «Городская типография», 2009. – 152 с.
12. Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / Отв. ред. В. О. Таргульян, С. В. Горячкин. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 692 с.
13. Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем: монография / И. Х. Узбек, А. С. Кобец, П. В. Волох и др.; под ред. И. Х. Узбека. – Днепропетровск: «Пороги», 2010. – 263 с.
14. Розанов Б. Г. Морфология почв: уч. для высш. шк. / Б. Г. Розанов. – М.: Академический Проект, 2004. – 432 с.

**Задорожна Г. О., Кунах О. М., Жуков О. В. Просторова організація дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах.** – Досліджена просторова організація дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах ділянки рекультиватії Орджонікідзевського ГЗК за даними мінливості твердості, що зібрані по регулярній сітці. За допомогою кластерного аналізу виділено три основних групи (кластера) ґрунтових профілів з однотипною зміною твердості – А, В, С. Кластери В і С найбільш близькі за своїми властивостями твердості, а кластер А значно відрізняється від кластера С і меншою мірою – від кластера В, який є перехідною формою між А і С. Кількісними методами ландшафтної екології описані розмір і форма педонів виділених кластерів, компактність і агрегація їх розташування, надані кількісні оцінки суміжних і внутрішніх кордонів педонів. Як спосіб характеристики взаємного розташування і встановлення міри взаємного впливу елементів ґрунтової структурної неоднорідності використано відстань Махаланобіса як оцінку віднесення експериментальної точки до того чи іншого кластеру. Залежність, описана за допомогою рівняння Міхаеліса-Ментен, дає підстави до виділення двох педонів – А та ВС, останній з яких представлений кількісними варіаціями В і С.

*Ключові слова:* геостатичний аналіз, педони, просторова організація.

**Zadorozhna G. O., Kunah O. N., Zhukov O. V. The spatial organization of soddy-lithogenic soils on the red-brown clays.** – The spatial organization of the sod lithogenic soil on the red brown clay has been investigated. Data have been collected within regular network. By means of cluster analysis the three main group of the soil profile pattern have been selected (A, B, C). The clusters B and C are the most close related on the basis of the impedance properties. The cluster A is considerable different from the cluster C and in the low degree different from the cluster B. The cluster B has been shown to be transition form from the cluster A to cluster C. The clusters have been recognized as soil pedons. The methods of the landscape ecology have been proposed to describe size and form of separated clusters and their compactness and aggregation of spatial distribution. The quantitative estimation of the pedon edges have been presented. Michaelis-Menten kinetic model has been involved to assess the measure of the mutual effect of the elements of the soil structural heterogeneity.

*Key words:* geostatistical analysis, pedons, spatial organization.