

stage of development causes the formation of anomalies. In conclusion, in terms of protein and glycogen the optimum temperature for embryonic development of carp is 25-26°C.

Key words: embryogenesis, proteins, glycogen, temperature and oxygen regime, carp, white carp, grass carp

Рекомендує до друку
В. В. Грубінко

Надійшла 26.10.2016

УДК 631.421+622.882

Г. А. ЗАДОРЖНАЯ

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара
пр-т. Гагарина, 72, Днепр, 40010

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ТЕХНОЗЕМОВ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Исследована динамика пространственной неоднородности дерново-литогенной почвы на серо-зеленой глине по показателям твердости. Проведен экоморфический анализ растительности экспериментального участка. Путем неметрического многомерного шкалирования осуществлена ординация данных твердости почвы. Применен трехмерный вариант многомерного шкалирования. Взаимосвязь варьирования твердости почвы и факторов окружающей среды установлена при использовании фитоиндикационных шкал. С помощью техники пространственного анализа данных (PCNM) выделены элементы пространственной автокорреляции данных твердости почвы и определены процессы, лежащие в основе ее формирования.

Ключевые слова: твердость почвы, фитоиндикация, многомерное шкалирование

За последнее десятилетие объемы рекультивации техногенных ландшафтов по сравнению с нарушением земель сократились более чем в 2 раза, а ежегодные темпы восстановления нарушенных территорий снизились в 4,1 раза [27]. Общая площадь земель, нарушенных в результате добычи полезных ископаемых открытым способом и занятых под промышленные отходы в Украине достигает 270 тыс. га. До горных разработок они представляли собой плодородные черноземы, характерные для нашей климатической зоны. На данный момент – это почво-грунты на основе глин, вынесенных на дневную поверхность с разных глубин, затронутые почвообразовательным процессом в разной степени. Их хозяйственная пригодность, восстановление производительности, реконструкция, создание на месте "промышленных пустынь" новых культурных ландшафтов является предметом живой дискуссии в научном сообществе [3, 18, 27].

Рекультивационные почвы обладают высокой степенью неоднородности свойств [2, 8, 11]. Существование закономерной неоднородности почв на небольших пространствах является доказательством множественности строения и свойств почв и следствием разнонаправленного действия факторов почвообразования и особенно сложных и противоречивых взаимосвязей почвенного тела с растительностью и климатом [13, 22, 26, 32]. Наблюдаемая пространственная гетерогенность является результатом дополняющих друг друга причин экологического, биологического и исторического характера и проявляется на различных масштабных уровнях [45, 53]. Неоднородность почв в вертикальном направлении обусловлена удалением от поверхности и интенсивностью почвообразовательного процесса. Горизонтальную пространственную гетерогенность свойств почв связывают с мозаичностью строения биогеоценозов [1, 12]. Границы между элементарными единицами этой мозаики проводят по критерию смены растений-доминантов. На примерах почв бореальных лесов

показано, что в некоторых случаях они реалистично отражают изменение свойств почвы [14–17, 25]. Однако, жизнедеятельность растительного сообщества не единственный фактор неоднородности почв. Среди причин, формирующих гетерогенность почвенных условий, выделяют биотическую компоненту, гидротермические и литолого-геоморфологические факторы [10, 20, 28]. Многофакторность условий затрудняет выработку единого подхода к определению почвенной неоднородности и ее функциональных связей. Процедуры разграничения элементов неоднородности и их результаты сильно различаются в зависимости от того по какому признаку или свойству устанавливается неоднородность. Неоднородной почва может быть по кислотности, гранулометрическому и агрегатному составу, влажности, содержанию химических элементов и т.д. [21, 28, 43, 49, 63, 64, 69]. В зависимости от того, какими критериями пользоваться при установлении неоднородности почвенного пространства, границы могут обладать разными особенностями и проходить в различных местах. Поэтому наиболее эффективно при разграничении почвенного пространства в качестве критериев использовать интегральные характеристики почвенных свойств. Такие характеристики должны отражать композитные изменения почвенного пространства. Подобным свойством почвы является ее твердость. Твердость – высокоинформативный маркер, который отражает физическое состояние почвенного тела [6, 11, 21, 37]. Пространственное варьирование твердости почвы достоверно коррелирует с такими показателями как плотность сложения, электропроводность, проективное покрытие, фитомасса, агрегатный состав верхнего слоя грунта [2, 31]. Твердость зависит от влажности почвы, гранулометрического состава, содержания в почве органического вещества, состава поглощенных катионов [20]. Чрезмерное повышение твердости почвы изменяет структуру почвы и ее гидрологию за счет увеличения объемной плотности, разрушения агрегатов, уменьшения пористости, уменьшения аэрации и мощности инфильтрации, что приводит к эрозии и заболачиванию [54, 65, 48]. Растения и животные испытывают влияние твердости почвы, а также сами активно влияют на это свойство почвы [41, 51, 66]. Вышесказанное обуславливает перспективность использования твердости в почвенных и агрономических исследованиях [42, 47, 50, 62, 67].

Целью настоящей работы является выяснение влияния растительного покрова и факторов окружающей среды на формирование неоднородности техноземов по показателям твердости.

Материал и методы исследования

Сбор материала проводился в июне 2013 г. на участке рекультивации Никопольского марганцево-рудного бассейна в г. Орджоникидзе. Экспериментальный участок по изучению оптимальных режимов сельскохозяйственной рекультивации был создан 1968-1970 гг. на внешнем отвале Запорожского марганцево-рудного карьера. На данном участке были созданы искусственные эдафотопы двух типов. Первый – на спланированной смеси вскрышных пород с отсыпкой на их поверхность различных по мощности слоев черноземной массы. Второй представляет собой спланированные вскрышные породы толщиной 2 м, которые были вынесены из разных глубин. В качестве объекта данного исследования была выбрана дерново-литогенная почва на серо-зеленых глинах. Название почвы приведены по Л.В. Етеревской с соавт [5]. В настоящее время тип растительности представлен бобово-злаковой смесью и разнотравьем.

Опытный полигон представляет собой регулярную сетку, которая состоит из точек отбора проб, расстояние между которыми составляет 3 м и состоит из 7 трансект по 15 проб. Соответственно, его размеры составляют 42 м × 18 м.

Использован ручной пенетромтр Eijkelkamp [6, 8, 23, 42, 47]. Средняя погрешность результатов измерений прибора составляет ± 8%. Измерения твердости почвы сделаны конусом поперечного сечения 2 см² в каждой ячейке полигона.

Фитоиндикационные шкалы приведены по Я. П. Дидуку [4]. К эдафическим фитоиндикационным шкалам относятся показатели гидроморф (Hd), переменности увлажнения (fH), аэрации (Ae), режима кислотности (Rc), солевого режима (SI), содержания карбонатных солей (Ca), содержания усвояемых форм азота (Nt). К климатическим шкалам относят показатели терморегима (Tm), омброрегима (Om), криорегима (Cr) и континентальности климата (Kn). Помимо указанных, выделяется ещё шкала освещения (Lc), которую

характеризуют как микроклиматическую шкалу. Тепловые свойства почв индицируются шкалой терморегима, а гидротермические – шкалой омброрегима. Экоморфы растений приведены по А. Л. Бельгарду и В. В. Тарасову [29]. Ценоморфы представлены степантами, пратантами, псаммофитами, сильвантами и рудерантами. Степанты и сильванты составляют основную часть растительного покрова (76,51 и 16,39 % соответственно), поэтому именно эти экоморфы использованы как предикторы твердости почвы (переменные *St* и *Pr* – проективное покрытие соответствующих экоморф в %). Гигроморфы представлены ксерофитами (уровень влажности 1), мезоксерофитами (уровень влажности 2), ксеромезофитами (уровень влажности 3), мезофитами (уровень влажности 4), гигромезофитами (уровень влажности 5). Уровень влажности по гигроморфической структуре (*Hygr*) оценен как:

$$Hygr = \frac{\sum_{i=1}^{j=N} (i \times P_i)}{100},$$

где *i* – уровень влажности; *P_i* – проективное покрытие растений соответствующей гигроморфы.

Трофоморфы представлены олиготрофами (уровень трофности 1), мезотрофами (уровень трофности 2) и мегатрофами (уровень трофности 3). Уровень трофности по трофоморфической структуре (*Troph_B*) оценен как:

$$Troph_B = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} (j \times P_j)}{100},$$

где *j* – уровень трофности; *P_j* – проективное покрытие растений соответствующей трофоморфы.

Гелиоморфы представлены гелиосциофитами (уровень освещения 2), сциогелиофитами (уровень освещения 3), гелиофитами (уровень освещения 4). Уровень освещения по гелиоморфической структуре (*Hel*) оценен как:

$$Hel = \frac{\sum_{z=1}^{z=N} (z \times P_z)}{100},$$

где *z* – уровень освещения; *P_z* – проективное покрытие растений соответствующей гелиоморфы.

При статистических расчетах использованы методы описательной статистики. Для снижения размерности пространства показателей твердости почвы было применено неметрическое многомерное шкалирование [24, 30, 33, 58]. При этом для получения наибольшей ранговой корреляции проводили выбор меры связи между объектами, а также предварительное преобразование первичных данных [57]. В качестве мер связи использовали следующие метрики: евклидова, манхеттеновская, Гувера, Брея-Куртиса, Кульчинского, Морисита, Горна-Морисита, биномиальная, Као, Жаккара, Маунфорда, Рауп-Крика, Канберра, Чао [60]. Использовали следующие варианты преобразования данных: извлечение логарифма, корня квадратного, χ-квадрат преобразование, трансформация Хеллинджера и висконсианская трансформация [6, 34].

Результаты исследований и их обсуждение

Средние значения твердости почвы увеличиваются с глубиной от $1,74 \pm 0,08$ МПа на поверхности до $7,09 \pm 0,16$ МПа на глубине 50 см вниз по профилю. Коэффициент вариации наивысший на поверхности (46,1 %) резко снижается до глубины 15 см и далее незначительно колеблется от 29,0 до 23,6 %. с углублением почти вдвое и на глубине 50 см (18,51 %) и на уровне 25–50 см остается достаточно стабильным, колеблясь в пределах 33,26–37,88 % (табл. 1).

Таблица 1

Описательные статистики твердости почвы

Расстояние от поверхности	Среднее, МПа	Доверительный интервал		CV, %
		- 95 %	+ 95 %	
0–5 см	1,74 ± 0,08	1,60	1,81	46,1
5–10 см	3,35 ± 0,12	3,19	3,48	36,7
10–15 см	4,60 ± 0,13	4,35	4,68	29,7
15–20 см	5,65 ± 0,16	5,45	5,73	29,0
20–25 см	6,10 ± 0,17	5,71	6,05	28,7
25–30 см	6,31 ± 0,15	6,11	6,40	24,1
30–35 см	6,42 ± 0,15	6,31	6,65	24,5
35–40 см	6,52 ± 0,16	6,34	6,72	24,6
40–45 см	6,77 ± 0,17	6,72	7,07	25,1
45–50 см	7,09 ± 0,16	6,83	7,23	23,6

В таблице 2 приведены результаты вычисления корреляции Спирмена с матрицами дистанций между сайтами отбора проб, установленными по твердости почвы и матрицами дистанций, найденными на основе факторов окружающей среды.

Таблица 2

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена матриц мер различия-подобия между сайтами отбора проб по твердости почвы и переменных окружающей среды

Метрика	Способ трансформации данных										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эвклидова	0,26	0,31	0,31	0,26	0,32	0,31	0,26	0,30	0,31	0,31	0,33
Манхеттеновская	0,27	0,31	0,29	0,27	0,30	0,30	0,26	0,29	0,30	0,30	0,32
Гувера	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,29	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31
Брея-Куртиса	0,27	0,30	0,29	0,27	0,30	0,30	0,26	0,25	0,30	0,30	0,32
Кульчинского	0,27	0,31	0,30	0,27	0,31	0,31	0,26	0,26	0,30	0,30	0,32
Морисита	–	–	–	0,03	0,01	0,01	-0,09	-0,01	-0,07	-0,06	0,00
Горна-Морисита	0,26	0,31	0,32	0,26	0,33	0,32	0,26	0,27	0,32	0,31	0,33
Као	0,31	0,26	0,31	0,18	0,31	0,31	0,28	0,27	0,32	0,33	0,23
Жаккара	0,27	0,30	0,29	0,27	0,30	0,30	0,26	0,25	0,30	0,30	0,32
Моунфорда	–	–	–	–	–	–	–	0,03	–	–	–
Рауппа-Крика	–	–	–	–	–	–	–	0,00	–	–	–
Канберра	0,30	0,28	0,30	0,32	0,30	0,30	0,31	0,24	0,32	0,32	0,32
Чао	–	–	–	–	–	–	–	0,09	–	–	–
Махаланобиса	0,29	0,30	0,30	0,27	0,29	0,29	0,25	0,29	0,26	0,27	0,27

Условные обозначения: 1 – данные не трансформированы; 2 – логарифмированные данные; 3 – корень квадратный; 4 – данные, деленные на маргинальную сумму; 5 – данные, деленные на маргинальный максимум; 6 – данные, деленные на маргинальную сумму и умноженные на число ненулевых значений; 7 – нормализованные данные (маргинальная сумма квадратов значений равна 1); 8 – стандартизовано к диапазону 0–1; 9 – преобразование Хеллинджера; 10 – χ^2 -трансформация; 11 – висконсианская трансформация.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что наибольшей корреляцией с факторами среды характеризуется матрица на основе Эвклидовой метрики с данными, предварительно подвергнутыми Висконсианской трансформации. При дальнейших вычислениях экспериментальные данные будут использоваться в преобразованном упомянутом способом виде.

Для определения степени сходства между исходной матрицей расстояний и расстояниями между точками вводится функция стресса. Стресс равен нулю обозначает полную тождественность сравниваемых матриц. Задача ординации сводится к подбору таких координат точек в новом пространстве, чтобы величина стресса между модельной и эмпирической матрицей была минимальной, а, соответственно, подобие матриц максимальным.

Проведенные расчеты свидетельствуют о том, что трехмерный вариант многомерного шкалирования достаточен для точного отображения исходного массива данных твердости почвы, так как увеличение числа измерений выше указанного не приводит к существенному приросту точности отображения (рис. 1).

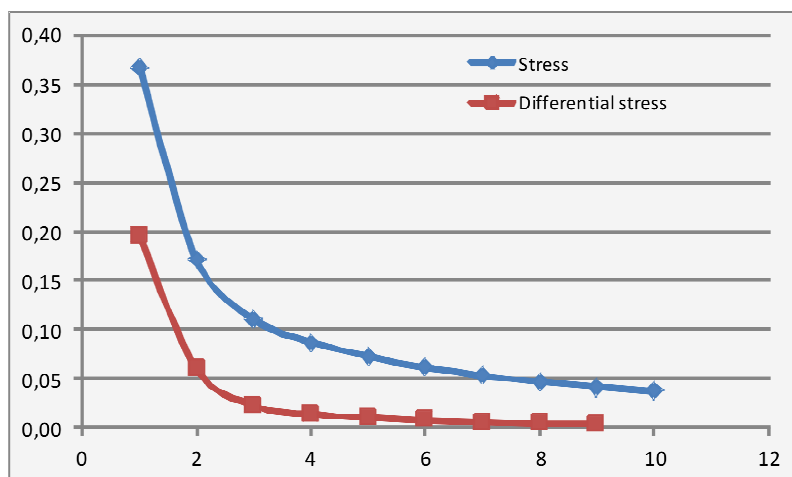


Рис. 1. Зависимость дифференциального стресса от числа измерений. Условные обозначения: ось абсцисс – число измерений; ось ординат – стресс (ось слева) и дифференциальный стресс (ось справа); стрелкой указана зона резкого перегиба линии дифференциального стресса.

Ординация данных твердости почвы проведена путем неметрического многомерного шкалирования. Интерпретация найденных измерений осуществляется на основе анализа матрицы средневзвешенных значений многомерных осей для показателей твердости почвы (табл. 3).

Таблица 3

Средневзвешенные значения многомерных осей для показателей твердости почвы (факторные веса)

Расстояние от поверхности	Многомерные шкалы		
	NMDS1	NMDS2	NMDS3
0–5 см	-5,10	2,57	-1,05
5–10 см	-2,65	0,69	0,64
10–15 см	-2,31	-2,86	0,95
15–20 см	0,68	-2,08	-0,66
20–25 см	0,46	-1,08	-0,36
25–30 см	1,27	0,34	1,91
30–35 см	0,88	1,06	1,33
35–40 см	2,04	1,18	0,67
40–45 см	1,15	0,23	-0,95
45–50 см	1,72	0,31	-2,71

Факторные веса позволяют ранжировать, упорядочить объекты (которыми в нашем случае является твердость почвы на разных глубинах) по каждой многомерной шкале и увидеть меру проявления измерения у отдельного исходного объекта. Чем больше факторный вес

некоторого объекта (по модулю), тем больше в нем проявляется та сторона явления или та закономерность, которая отражается данным фактором.

Многомерная ось MDS1 обособляет блок отрицательных значений соответствующий уровню от 0 до 15 см вглубь и противопоставляет им положительные величины весов, соответствующих слоям, расположенным ниже 15 см. Прослеживается закономерное увеличение значения многомерной шкалы с увеличением расстояния от поверхности. MDS2 отражает противоположные явления в строении почвы выше и ниже уровня 25 см от поверхности. Многомерная шкала NMDS3 выделяет такие условия, при которых твердость почвы в слоях 0–5, 15–25 и 40–50 см подобна между собой, но отличается от твердости в слоях 5–15 и 25–40 см от поверхности. Наиболее значимые веса в первом и втором измерении соответствуют поверхностному слою почвы (0–5 см). Третье измерение выделяет как наиболее значимое строение слоя 45–50 см.

В таблице 4 отображено распределение информационной значимости между многомерными осями. Доля дисперсии изучаемого признака объяснена фитоиндикационными шкалами.

Таблица 4

Доля объясненной фитоиндикационными шкалами дисперсии осей и распределение информационной значимости между многомерными шкалами

Фитоиндикационные шкалы	NMDS1	NMDS2	NMDS3	r^2	Pr(>r)	Коды значимости
Hd	-0,55	-0,77	-0,33	0,14	0,00	**
ffl	0,52	-0,68	0,52	0,11	0,01	**
Rc	-0,97	-0,07	0,25	0,21	0,00	***
Sl	-0,17	0,65	-0,74	0,18	0,00	***
Ca	0,02	-0,05	-1,00	0,10	0,01	*
Nt	-0,74	0,47	-0,48	0,47	0,00	***
Ae	0,09	0,02	-1,00	0,06	0,07	.
Tm	-0,34	-0,57	-0,74	0,19	0,00	***
Om	0,04	0,92	0,39	0,17	0,00	***
Kp	-0,93	-0,36	0,10	0,17	0,00	***
Cr	-0,27	-0,13	0,95	0,05	0,12	
Lc	0,02	-0,53	-0,85	0,13	0,00	**
Hygr	0,81	0,57	0,16	0,40	0,00	***
Troph_B	-0,66	0,55	-0,52	0,42	0,00	***
St	-0,88	-0,21	0,42	0,23	0,00	***
Pr	0,88	0,21	-0,42	0,23	0,00	***
Hel	0,80	-0,30	0,52	0,21	0,00	***

Примечание: Коды значимости: ‘***’ – <0,001; ‘**’ – <0,01; ‘*’ – <0,05.

Статистически значимые фитоиндикационные шкалы описывают от 6 до 42 % вариабельности многомерных измерений. Каждое измерение распределяет исследуемые объекты вдоль некоторого экологического тренда, который можно интерпретировать в терминах одного или нескольких преобладающих коррелятивных признаков. Эти тренды имеют сложную композитную природу и образуют определенную структуру, отражающую наиболее существенные черты изучаемой системы. Такая модель дает возможность вычислять вклады факторов внешней среды в общую дисперсию. Чем выше доля вклада, тем более существенным является фактор для определения смысла измерения.

Для формирования первой ординационной оси значение имеет режим кислотности почвенного раствора. Эта ось описывает распределение в растительном сообществе изученного участка степантов, пратантов и гелиоморф. Наиболее высокое значение в формировании NMDS2 имеет шкала омброклимата. Наибольшая доля объясненной дисперсии многомерной оси NMDS3 принадлежит фитоиндикационной шкалам режима аэрации почвы и содержания карбонатных солей. Во всех трех измерениях коэффициенты представленности в растительном сообществе степантов и пратантов имеют противоположные знаки.

Данные, представленные в таблице 4, дают общее представление о взаимодействии изучаемого свойства почвы и формирующих его внешних факторов как о линейной системе. Векторы экологических факторов и их изолинии в пространстве осей многомерного шкалирования дают возможность сравнить масштабность эффектов воздействия экологических факторов на распределение изучаемого почвенного свойства (рис. 2).

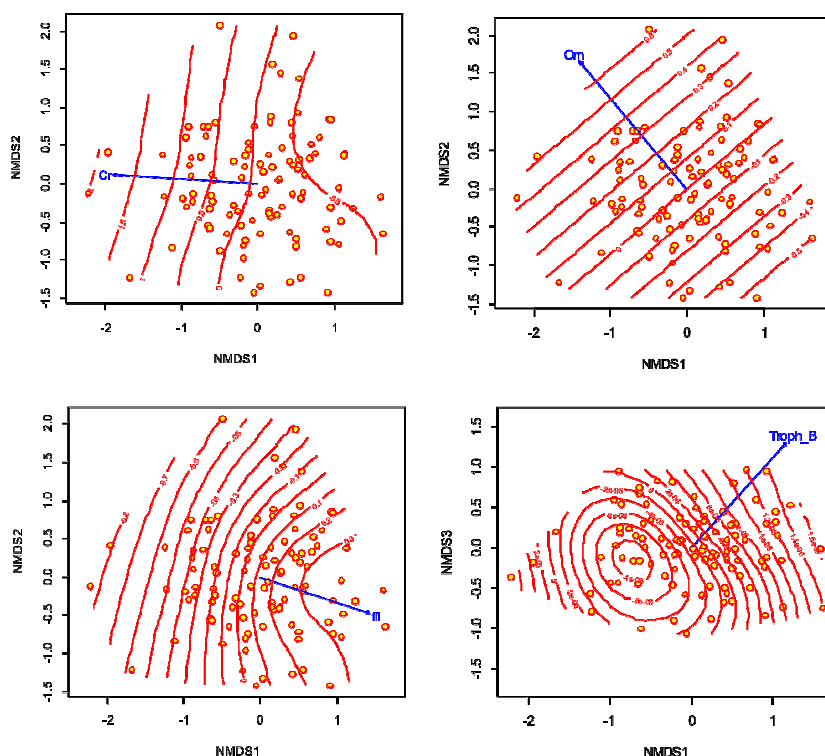


Рис. 2. Векторы экологических факторов (режим кислотности, содержание карбонатных солей, аэрация и омброрежим) и их изолинии в пространстве осей многомерного шкалирования

Для определения наличия пространственной структуры почвенного строения и выделения процессов, лежащих в их основе, применена техника пространственного анализа данных – метод главных координат матрицы соседства (PCNM – *principal coordinates of neighbor matrices*). Она основана на построении модифицированной усеченной матрицы расстояний между точками отбора проб, анализа ее главных координат [40]. и отбора PCNM-переменных, наилучшим образом описывающих изучаемые свойства объекта исследования [39, 45].

В процессе PCNM-анализа было выделено 55 PCNM-переменных, которые отвечали позитивным индексам Морана. С помощью прямого выбора (*forward selection*) были установлены 7 наиболее информативных PCNM-переменных, которые описывают 17, 69 % варибельности шкал ($F = 3,034$, $p = 0,037$). Фракционирование вариации позволило установить, что факторы среды и пространственные факторы описывают 76 % варибельности шкал (рис. 3). Из них уникальная средовая компонента описывает 47 % варибельности твердости почвы, уникальная пространственная компонента составляет 2 %. Пространственно коррелированные факторы среды описывают 27 % варибельности многомерных шкал твердости. Остаток в 24 % описывает варибельность, зависящую от факторов, которые не учтены в нашем эксперименте.

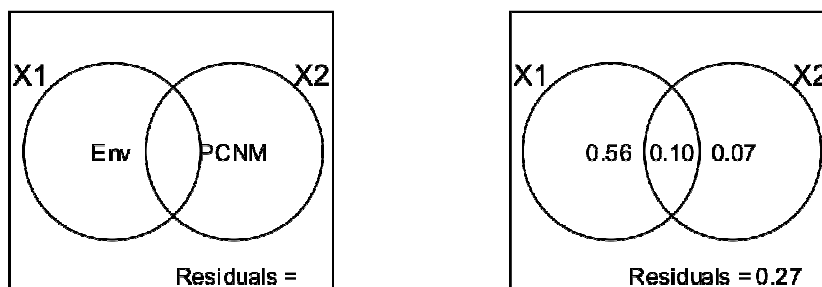


Рис. 3. Фракционирование вариации многомерных шкал с помощью факторов среды и пространственных переменных

Пространственные переменные были разделены на компоненты: широкомасштабную (переменные 2, 4, 8, 10) и детальномасштабную (11, 17, 47). Для каждого подмножества PCNM-переменных выделены канонические оси, пространственная изменчивость которых представлена на рисунке 4. Это совокупный результат, обрисовывающий формы почвенной неоднородности на разных масштабных уровнях.

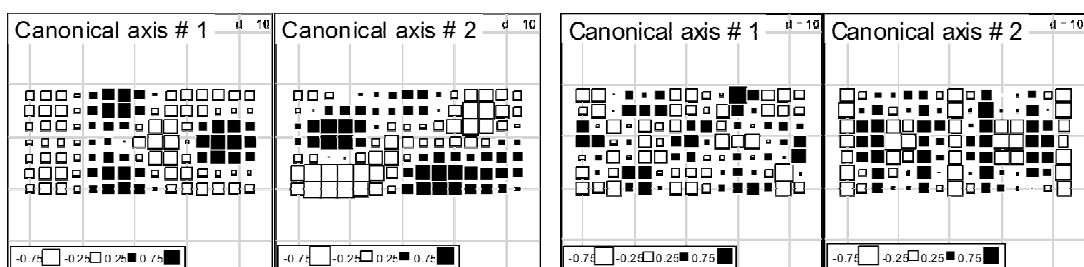


Рис. 4. Пространственное размещение канонических осей широкомасштабных и детальномасштабных компонент.

Таблица 5

Регрессионный анализ связи канонических осей, отображающих паттерны пространственной изменчивости твердости почвы на различных пространственных уровнях, с факторами среды

Фитоиндикационные шкалы	Крупномасштабная компонента $R^2_a = 0,187$				Детальномасштабная компонента $R^2_a = 0,139$			
	Регрессионный коэффициент	Стандартная ошибка	t значение	p-уровень	Регрессионный коэффициент	Стандартная ошибка	t значение	p-уровень
Hd	-0,12	0,12	-1,00	0,32	0,05	0,15	0,32	0,75
ffl	0,20	0,12	1,69	0,10	-0,12	0,15	-0,78	0,44
Rc	-0,05	0,11	-0,46	0,65	-0,03	0,13	-0,23	0,82
Sl	-0,09		-0,73	0,46	0,09	0,15	0,61	0,54
Ca	0,14	0,10	1,33	0,19	-0,01	0,13	-0,09	0,93
Nt	-0,03	0,13	-0,23	0,82	0,13	0,16	0,83	0,41
Ae	0,07	0,11	0,69	0,49	0,01	0,14	0,04	0,97
Tm	-0,10	0,12	-0,77	0,45	-0,24	0,16	-1,57	0,12
Om	-0,05	0,11	-0,44	0,66	-0,11	0,13	-0,86	0,39
Kp	-0,24	0,14	-1,68	0,10	-0,22	0,18	-1,25	0,22
Cr	0,05	0,12	0,47	0,64	0,02	0,15	0,12	0,91
Lc	0,01	0,11	0,12	0,90	0,18	0,14	1,26	0,21
Hygr	0,11	0,14	0,78	0,44	0,10	0,17	0,56	0,57
Troph_B	0,22	0,12	1,73	0,09	-0,41	0,16	-2,65	0,01
St	-5,59	1,98	-2,82	0,01	7,89	2,48	3,18	0,00
Pr	-5,34	1,98	-2,70	0,01	7,88	2,48	3,18	0,00
Hel	-0,07	0,13	-0,55	0,58	-0,08	0,16	-0,48	0,63

Для выяснения характера связи канонических осей, отображающих паттерны пространственной изменчивости твердости почвы на различных пространственных уровнях, с факторами среды, был проведен регрессионный анализ (табл. 5). Он описывает 18,7 % варибельности канонических осей широкомасштабной компоненты изменчивости. Значительными регрессионными коэффициентами характеризуются шкалы ffl , $Troph_B$ (позитивные коэффициенты) и Kn , St , Pr , (отрицательные коэффициенты). Значительными регрессионными коэффициентами для детальномасштабной компоненты изменчивости характеризуются шкалы St , Pr (положительные коэффициенты) и $Troph_B$ (отрицательный коэффициент). Формирование этой компоненты детерминировано факторами внешней среды на 13,9 %.

В результате наших исследований установлено наличие закономерного строения чернозема и его связи с экологическими факторами. Для этих целей был проведен экоморфический анализ растительности. Его суть состоит в определении экологических режимов экотопа на основе реакции видов растений. Изменение присутствия и обилия видов используют как интегрированную оценку реакции влияния прямодействующих факторов среды [10, 19]. Такой подход основывается на том, что характеристика экотопа представлена набором экологических режимов по основным факторам среды (водобеспеченности, кислотности, трофности, освещенности, температурному режиму и т.д.). Определение непосредственным измерением соответствующих показателей – это весьма трудоемкая работа, требующая значительного числа измерений и проверки степени динамичности параметров. Метод фитоиндикации позволяет избежать этих трудностей. Правомочность применения таких шкал для характеристики экологических режимов доказана большим количеством работ [4, 9, 46]. В них показано, что имеет место корреляция между непосредственным измерением фактора и его балловой оценкой по экологическим шкалам. Более того, установлено, что фитоиндикационные шкалы относительно почвенных свойств обладают большей индикативностью, чем прямое измерение параметров окружающей среды [6]. В нашем исследовании они выступают как связующее звено между структурой растительности и твердостью почвы.

Данные твердости почвы были подвергнуты процедуре многомерного шкалирования. Многие эксперты признают, что этот метод дает наиболее адекватные результаты, особенно в больших блоках материала с сильными шумами (случайными отклонениями) [24, 30, 33, 58, 61]. Суть его состоит в снижении размерности пространства для отображения исходного многомерного массива данных. Для этого может быть выбрана некоторая мера, которая определяет расстояние между рассматриваемыми объектами. Алгоритм моделирует размещение точек в некотором n -мерном пространстве таким образом, чтобы расстояния между точками в n -мерном пространстве были как можно ближе к расстояниям, определенным для m -мерного пространства, где m – число изучаемых объектов. При этом n – число ординационных осей, или шкал, – заведомо невелико, т.е. $m > n$. В результате количество информационно важных измерений становится меньше, а шкалы получают свойства композиционности.

В нашем случае информационная ценность для диагностики факторов внешней среды переходит от данных твердости почвы как самостоятельных источников информации к осям экологического пространства. В процессе многомерного шкалирования эти оси отображаются измерениями. Процедура предполагает вычисление ранговой корреляции матриц дистанций между сайтами измерения твердости и матриц дистанций, установленными на основе факторов окружающей среды. В качестве факторов окружающей среды в нашем исследовании выступают оценки эдафотопа и климатопа, выраженные через фитоиндикационные шкалы.

В результате исследования показаны закономерности в распределении показателей твердости почвы. Одним из характерных вариантов строения профиля является случай, когда твердость почвы на уровне 0–15 см от поверхности отличается от твердости нижерасположенных слоев. Формирование таких условий связано с режим кислотности почвенного раствора. При этом представленность пратантов и степантов в растительном сообществе носит противоположный характер, что достаточно логично. Контрастность по

признаку твердости почвы, расположенной выше и ниже уровня 25 см, сопряжена с таким фактором как омброклимат. Климатические факторы не меняет свою интенсивность на характерных для данного экспериментального участка расстояниях и, следовательно, оказывают не дифференцирующее, а нивелирующее воздействие на почву. Однако, климат в числе других факторов, задает набор возможных на данной территории составляющих почвы, воздействуя как прямо, так и опосредованно через другие факторы. Корреляции климатических шкал могут быть результатом согласованных трендов растительного сообщества, инициированных эдафической компонентой [6]. Еще одной закономерностью в строении почвы является случай, когда интенсивность твердости при движении вниз по профилю меняется несколько раз. Внешними факторами, связанными с этими условиями, являются аэрация почвы и содержание карбонатных солей.

Зависимость полученных данных от влияния изученных экологических факторов не одинакова. Изображение векторов экологических факторов и их изолиний в пространстве осей многомерного шкалирования позволяет сравнить размерность эффектов. Такой фактор как омброклимат для почвы изученного участка влияет на формирование неоднородности большого масштаба. В то же время кислотность почвы, содержание карбонатных солей и особенно аэрация оказывают воздействие на формирование закономерностей строения с длиной волны меньшей, чем размеры экспериментального полигона. Различная масштабность эффектов экологических факторов отмечена и в других работах [39, 40, 45].

Как установлено, факторы окружающей среды (в том числе и эдафические характеристики, являющиеся для свойства твердости внешними) оказывают влияние на пространственную вариацию твердости почвы. Однако, вариация, которая полностью отнесена только лишь к переменным, зависимым от среды, может случайно отражать паттерны, действительно возникающие вследствие нейтральных процессов [36, 59]. Пространственная автокорреляция не может быть объяснена факторами среды и относится к результату действия нейтральных механизмов [52, 56, 68]. Фракционирование вариации [38, 56] позволило разделить всю совокупность предикторов на индивидуальные и комбинированные компоненты, выяснить степень их корреляции с изменчивостью твердости почвы. Изменчивость, обусловленная внешними предикторами, содержит как индивидуальные, так и комбинированные компоненты, которые в совокупности описывают 54 % вариации. Вариабельность признака, обусловленная внутренними закономерностями почвенного строения, носящими нейтральный характер, взаимодействуя с факторами окружающей среды, объясняет 29 % неоднородности. Регрессионный анализ связи канонических осей, отображающих паттерны пространственной изменчивости твердости почвы с факторами среды, определил роли предикторов для механизмов формирования почвенного строения на разных масштабных уровнях. Из изученных факторов внешней среды наиболее значимыми для формирования широкомасштабной вариации пространственной изменчивости твердости являются переменность увлажнения и термоклимат. Как широкомасштабные так и детальномасштабные пространственные вариации твердости почвы зависят от структуры растительного покрова, а именно представленности в нем трофоморф растений, степантов и пратантов. Такой результат может отражать различную испаряющую способность разных форм растений и, соответственно, иссушение почвы в результате десукции.

В нашем исследовании для анализа строения почвы был использован алгоритм, применяемый для анализа структуры сообществ живых организмов [7]. Результаты исследования позволяют говорить о наличии адаптивных процессов в почве и правомерности применения подобных методик относительно этого объекта исследования. Почва как компонент биогеоценоза проявляет морфологическое и функциональное соответствие другим его составляющим. Процессы приобретения почвой закономерного строения детерминированы внешними и внутренними причинами, что обрисовывает своеобразную «экологическую нишу» для элементов почвенного строения [8]. Варьирование свойств среды частично объясняет наблюдаемые пространственные паттерны. Однако существуют элементы организации, возникновение которых обусловлено внутренней согласованностью почвенного тела. Взаимодействие внутренней динамики свойства с динамикой, предопределенной

климатическими, эдафическими и биологическими причинами, повышает уровень организованности в явлениях почвенного строения.

Выводы

1. При превентивном преобразовании первичных данных и выборе меры связи между объектами и установлено, что наибольшей корреляцией с факторами среды характеризуется матрица на основе Евклидовой метрики с данными, предварительно подвергнутыми Висконсианской трансформации.
2. Применен трехмерный вариант многомерного шкалирования, так как увеличение числа измерений выше трех не приводит к существенному приросту точности отображения.
3. Многомерная ось NMDS1 маркирует условия, отличающие твердость почвы в слоях 0–15 см от тех, что расположены выше и ниже выделенного блока. NMDS2 отражает противоположные явления в строении почвы выше и ниже уровня 25 см. Многомерная шкала NMDS3 выделяет такие условия, при которых твердость почвы в слоях 0–5, 15–25 и 40–50 см подобна между собой, но отличается от твердости в слоях 5–15 и 25–40 см от поверхности. Наиболее значимые веса в первом и втором измерении соответствуют поверхностному слою почвы (0–5 см). Третье измерение выделяет как наиболее значимое строение слоя 45–50 см.
4. Статистически значимые фитоиндикационные шкалы описывают от 6 до 42 % вариабельности многомерных измерений. Для формирования первой ординационной оси значение имеет кислотность почвенного раствора. Эта ось описывает распределение в растительном сообществе изученного участка степантов и пратантов с противоположными знаками. Наиболее высокое значение в формировании NMDS2 имеет шкала омброклимата. Наибольшая доля объясненной дисперсии многомерной оси NMDS3 принадлежит фитоиндикационной шкалам аэрации почвы и содержания карбонатных солей.
5. При фракционировании вариации твердости почвы изученного участка установлено, что факторы внешней среды определяют 47 % общей вариабельности полученных данных. PCNM-переменные описывают 2 % варьирования показателей твердости почвы, а взаимодействие пространственных паттернов с факторами внешней среды – 27 % изменчивости признака. При этом из изученных факторов внешней среды наиболее значимыми для формирования широкомасштабной вариации пространственной изменчивости твердости являются переменность увлажнения и термоклимат. Как широкомасштабные так и детальномасштабные пространственные вариации твердости почвы зависят от структуры растительного покрова, а именно представленности в нем трюфоморф растений, степантов и пратантов.

1. *Бобровский М. В.* Роль средообразующей деятельности ключевых видов почвенной фауны в формировании структуры почв / М. В. Бобровский // Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. — С. 40—48.
2. *Бондарь Г. А.* Экологическая структура растительного покрова, сформированного в результате самозарастания дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках / Г. А. Бондарь, А. В. Жуков // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету, 2011. — № 1. — С. 54—62.
3. *Ворон Е. А.* Свойства создаваемой почвы при послонной горнотехнической и биологической рекультивации / Е. А. Ворон // Науковий вісник НГУ. — 2010. — № 5. — С. 23—28.
4. *Дидух Я. П.* Сравнительная характеристика фитоиндикационных экологических шкал (на примере шкал терморезима и эдафических) / Я. П. Дидух, П. Г. Плюта // Экология, 1994. — № 2. — С. 34—43.
5. *Стеревська Л. В.* Рекультивовані ґрунти: підходи до класифікації і систематики / Л. В. Стеревська, Г. Ф. Момот., Л. В. Лехцієр // Ґрунтознавство, 2008. — Т. 9, № 3. — С. 147—150.
6. *Жуков А. В.* ГИС-подход для оценки влияния обычных и двояных колес на твердость почвы / А. В. Жуков // Біологічний вісник МДПУ, 2015, № 3. — С. 73—100.
7. *Жуков А. В.* Экоморфическая организация сообществ мезопедобионтов дубняка со свежим разнотравьем на арене р. Днепр / А. В. Жуков, О. Н. Кунах, В. А. Новикова // Известия Харьковского энтомологического общества — 2015. — Т. XXIII, Вып. 2. — С. 39—53.

8. Жуков О. В. Екоморфична організація ґрунтового тіла: геостатистичний підхід / О. В. Жуков, Г. О. Задорожна // Біологічні Студії / *Studia Biologica* — 2015. — Т. 9, № 3–4. — С. 119—128.
9. Загульнова Л. Б. Пространственная структура биогеоценологического лесного покрова / Л. Б. Загульнова, Н. В. Лукина, Е. В. Тихонова // В. кн.: Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. — С. 10—19.
10. Загульнова Л. Б. Фитоиндикация экологических режимов в малом бассейне / Л. Б. Загульнова, Е. В. Тихонова // Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. — С. 156—158.
11. Задорожна Г. О. Просторова організація дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах / Г. О. Задорожна // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького. — 2012. — № 1. — С. 48—57.
12. Карпачевский Л. О. Почвенный покров и парцеллярная структура лесного биогеоценоза / Карпачевский Л. О., Зубкова Т. А., Ташнинова Л. Н., Руденко Р. Н. // Лесоведение, 2007. — № 6. — С. 107—113.
13. Козловский Ф. И. Теория и методы изучения почвенного покрова / Ф. И. Козловский. — М.: ГЕОС, 2003. — 536 с.
14. Лукина Н. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения / Н. В. Лукина, В. В. Никонов. — Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1996. — 4.1. — 213 с. — 4.2. — 192 с.
15. Лукина Н. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. / Н. В. Лукина, В. В. Никонов. — Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1998. — 316 с.
16. Лукина Н. В. Пространственная изменчивость кислотности А L-Fe-гумусовых подзолов / Лукина Н. В., Горбачева Т. Т., Никонов В. В., Лукина М. А. // Почвоведение, 2002, № 2. — С. 163—176.
17. Лукина Н. В. Кислотность и питательный режим почв еловых лесов / Лукина Н. В., Никонов В. В., Исаева Л. Г. // Коренные еловые леса: биоразнообразие, структура, функции. — СПб.: Наука, 2006. — С. 215—253.
18. Масюк Н. Т. Рациональное использование насыпного слоя почвы на участках рекультивации в черноземной зоне / Н. Т. Масюк, Н. Е. Бекаревич // Освоение нарушенных земель. — М.: Наука, 1976. — С. 112—150.
19. Матвеев Н. М. Оптимизация системы екоморф растений А.Л. Бельгарда в целях индикации экотопа и биотопа / Н. М. Матвеев // Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Біологія, Екологія, 2003. — Т. 2, Вип. 11. — С. 105—113.
20. Медведев В. В. Твердость почвы / В. В. Медведев. Харьков: изд-во КП «Городская типография», 2009. — 152 с.
21. Медведев В. В. Неоднородность агрохимических показателей почвы в пространстве и во времени / В. В. Медведев, А. И. Мельник // Агрохимия, 2010. — № 1. — С. 20—26.
22. Михеева И. В. Пространственные флуктуации и вероятностно-статистические распределения свойств каштановых почв Кулундинской степи / И. В. Михеева // Почвоведение, 2005. — № 3. — С. 316—327.
23. Моисеев К. Г. Расчет плотности дерново-подзолистых почв по диаграммам / К. Г. Моисеев // Почвоведение, 2013. — № 10. — С. 1228—1233.
24. Новаковский А. Б. Методы ординации в современной геоботанике / А. Б. Новаковский // Вестник ин-та биол. Коми НЦ УрО РАН, 2008. — № 10 (132). — С. 2—8.
25. Орлова М. А. Влияние ели на пространственную изменчивость кислотности подзолов северотаежных лесов / М. А. Орлова, Н. В. Лукина, В. В. Никонов // Лесоведение, 2003. — № 6. — С. 3—11.
26. Пліско І. В. Дослідження просторової неоднорідності ґрунтів Михайлівської цілини / Пліско І. В., Трускавецький С. Р. // Вісник ЦЗН АПВ Харківської області. — 2010, Вип. 9. — С. 217—224.
27. Пространственная агроэкология и рекультивация земель: монография [Демидов А. А., Кобец А. С., Грицан Ю. И., Жуков А. В.] — Днепропетровск: Изд-во «Свидлер А.Л.», 2013. — 560 с.
28. Самсонова В. П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: На примере дерново-подзолистых почв / В. П. Самсонова. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 160 с.
29. Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської і Запорізької областей / В. В. Тарасов. — Видання друге. Доповнене та виправлене. Д.: „Ліра”, 2012. — 296 с.
30. Толстова Ю. Н. Основы многомерного шкалирования / Ю. Н. Толстова. — М.: КДУ, 2006. — 160 с.
31. Трифанова Н. В. Вплив колонії сірої чаплі на целюлозолітичну активність ґрунту / М. В. Трифанова, Г. О. Задорожна, Ю. О. Жукова // Вісник Львівського національного університету ім. Івана Франка. Серія біологічна, 2014. — Вип. 65. — С. 245—254.
32. Шейн Е. В. Пространственная неоднородность свойств на различных иерархических уровнях — основа структуры и функций почв / Е. В. Шейн, Е. Ю. Милановский // Масштабные эффекты при исследовании почв. — М.: МГУ, 2001. — С. 47—61.

33. Шитиков В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.
34. Штирц А. Д. Пространственная организация сообщества панцирных клещей (Acari: oribatida) в почве сельскохозяйственного поля в условиях степной зоны Украины / А. Д. Штирц, Г. А. Задорожная, О. Н. Кунах, А. В. Жуков // Известия Харьковского энтомологического общества. — Харьков, 2013. — Т. XXI, Вып. 1. — С. 49—60.
35. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову [Раменский Л. Г. Цаценкин И. А., Чижиков О. Н., Антипов Н. А.] — М.: Сельхозгиз, 1956. — 472 с.
36. Anderson M. J. Navigating the multiple meanings of b diversity: a roadmap for the practicing ecologist / M. J. Anderson // Ecology Letters, 2011. — Vol. 14. — P. 19—28.
37. Bayhan Y. Effect of soil compaction on sunflower growth. / Y. Bayhan, B. Kayisoglu, E. // Gonulol Soil and Tillage Research, 2002. — Vol. 68. — P. 31—38.
38. Borcard D. Partialling out the spatial component of ecological variation / D. Borcard, P. Legendre, P. Drapeau // Ecology, 1992. — Vol. 73. — P. 1045—1055.
39. Borcard D. Dissecting the spatial structure of ecological data at multi-ple scales / D. Borcard, P. Legendre, C. Avois-Jacquet, H. Tuosimoto // Ecology, 2004. — Vol. 85. — P. 1826—1832.
40. Borcard D. Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using oribatid mites (Acari, Oribatei) / D. Borcard, P. Legendre // Environmental and Ecological Statistics, 1994. — Vol. 1. — P. 37—61
41. Capowicz Y. Experimental evidence or the role of earthworms in compacted soil regeneration based on field observations and results from a semi-field experiment / Capowicz Y, Cadoux S, Bouchand P, Roger-Estrade J, Richard G, Boizard H. // Soil Biology and Biochemistry, 2009. — Vol.41(4). — P. 711—717.
42. Cecilia M. Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods / M. Cecilia, H. C. Jesus, C.A. Cortes // Eng. Agric. Jaboticabal, 2012. — Vol. 32 (1). — P. 91—101.
43. Clemens J. Spatial variability of N₂O emissions and soil parametrs of sn arable silt loam – a field study / Clemens J., Schillinger M.P., Golodbach H., Huwe B. // Biol. Fert. Soils., 1999. — Vol. 28. № 4. — P. 403—406.
44. Didukh Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication / Ya. P. Didukh. — Kyiv: Phytosociocentre. — 2011. — 176 p.
45. Dray S. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM) / S. Dray, P. Legendre, P. Peres-Neto // Ecol Model, 2006. — Vol. 196. — P. 483—493.
46. Ertsen A.C.D. Calibrating Ellenberg indicator values for moisture, acidity, nutrient availability and salinity in the Netherlands / A.C.D. Ertsen, J.R.M. Alkemade, M. J. Wassen // Plant Ecol. — 1998. — Vol. 135. — P. 113—124.
47. Grunwald S. Soil layer models created with profile cone pen-etrometer data / Grunwald S., McSweeney, K., Rooney, D.J., Lowery, B. // Geoderma, 2001. — Vol. 1103(1–2). — P. 181—201.
48. Godefroid S. Interspecific variation in soil compaction sensitivity among forest floor species / S. Godefroid, N. Koedam // Biological Conservation, 2004. — Vol. 119, 207—217.
49. Goncalves A. C. A. Estabilidade temporal da especial da umidade do solo em area irrigate por vivo central / A. C.A. Goncalves, M. V. Folegatti, A.P. Silva // Rev. Brasil. Cienc. Solo, 1999. — Vol. 23, № 1. — P. 155-164.
50. Hamza, M. A. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions / M. A. Hamza, W. K. Anderson // Soil Till. Res., 2005. — Vol. 82(2). P. 121—145.
51. Horsák M. Plant indicator values as a tool for land mollusc autecology assessment / M. Horsák, M. Hájek, L. Tichý, L. Juříčková // Acta Oecologica, 2007. — Vol. 32(2). — P. 161—171.
52. Hu Y.-H. The environment, not space, dominantly structures the landscape patterns of the richness and composition of the tropical understory vegetation / Y.-H. Hu, D.Y. Sheng, Y.Z. Xiang, Z.J. Yang, D.P. Xu, N.N. Zhang, L.L. Shi // PLoSONE, 2013. — Vol. 8(11). — P. 1.
53. Jiménez Juan J. Dissecting the multi-scale spatial relationship of earthworm assemblages with soil environmental variability / Jiménez Juan J., Decaëns T., Lavelle P., Rossi J. // BMC Ecology, 2014. — V. 14. — P. 26—45.
54. Kozłowski T.T. Soil compaction and growth of woody plants. / T.T. Kozłowski // Scandinavian Journal of Forest Research, 1999. — № 14, 596—619.
55. Legendre P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? / P. Legendre // Ecology, 1993. — Vol. 74(6). — P. 1659—1673.
56. Legendre P. Partitioning beta diversity in a subtropical broadleaved forest of China / Legendre P., Mi X., Ren H., Ma K., Yu M., Sun I.-F., He F. // Ecology, 2009. — Vol. 90. — P. 663—674.
57. Legendre P. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data / P. Legendre, E. D. Gallagher // Oecologia, 2001. — Vol. 129. — P. 271—280.

58. *Minchin P. R.* An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination / P. R. Minchin // *Vegetatio*, 1987. — Vol. 67. — P. 1167—1179.
59. *Murphy S. J.* Species associations structured by environment and land-use history promote beta-diversity in a temperate forest / Murphy S. J., Audino L. D., Whitacre J., Eck J. L., Wenzel J. W., Queenborough S. A., Comita L. S. // *Ecology*, 2015. — Vol. 96(3). — P. 705—715.
60. *Oksanen J.* Community Ecology Package. R package version 2.0-2. / Oksanen J, Blanchet F. G., Kindt R., Legendre P., P. & all. // 2011. — <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
61. *Prentice I. C.* Non-metric ordination methods in ecology / I. C. Prentice // *Journal of Ecology*, 1977. — Vol. 65. — P. 85—94.
62. *Ramires-Lopez L.* Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colombia / Ramires-Lopez L., Reina-Sanchez A., Camacho-Tamayo J.H. // *Eng. Agric., Jaboticabal*, 2008. — Vol. 28(1). — P. 55—63.
63. *Selles F.* Relationships between biological and chemical measures of N supplying power and total N at field scale / Selles F., Campbell C. A., McConkey B. G., Brandt S. A., Messer D. // *Canad. J. Soil Sci.*, 1999. — Vol. 79. — P. 353—366.
64. *Soracco, C. G.* Anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a soil under conservation and no-till treatments / Soracco, C. G., Lozano, L.A., Sarli, G.O., Gelati, P.R., Filgueira, R.R. *Soil Till. Res*, 2010. — Vol. 109, P. 18—22.
65. *Startsev A. D.* Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta / A. D. Startsev, D. H. McNabb // *Canadian Journal of Soil Science*, 2000. — Vol. 80. — P. 617—624.
66. *Schenkova V.* Habitat preferences and conservation of *Vertigo geyeri* (Gastropoda: Pulmonata) in Slovakia and Poland / Schenkova V., Horsak M., Pleskova Z., Pawlikowski P. // *Journal of Molluscan Studies*. — 2012. — Vol. 78. — P. 105—111.
67. *Serafim, M. E.* Intervalo hidrico otimo em um latossolo vermelho distroferrico sob diferentes sistemas de producao / Serafim, M. E., Vitorino A.C.T., Peixoto P.P.P., Souza C.M.A., Carvalho D.F. // *Eng. Agric., Jaboticabal*, 2008. — V. 28(4). — P. 654—665.
68. *Siefert A.* Functional beta-diversity patterns reveal deterministic community assembly processes in eastern North American trees / Siefert A. Ravenscroft C., Weiser M. D., Swenson N. G. // *Global Ecology and Biogeography*, 2013. — Vol. 6. — P. 682—691.
69. *Wright S. A.* *Axis and Circumference* / S. A. Wright – Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988. — 367 p.

Г. О. Задорожна

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ПРОСТОРОВА НЕОДНОРІДНІСТЬ ТЕХНОЗЕМІВ: ЕКОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД

Досліджено динаміку просторової неоднорідності дерново-літогенного ґрунту на сіро-зеленій глині за показниками твердості. Проведено екоморфічний аналіз рослинності експериментальної ділянки. Шляхом неметричного багатовимірного шкалювання здійснена ординація даних твердості ґрунту. Застосовано тривимірний варіант багатовимірного шкалювання. Взаємозв'язок варіювання твердості ґрунту і факторів навколишнього середовища встановлений при використанні фітоіндикаційних шкал. За допомогою техніки просторового аналізу даних (PCNM) виділені елементи просторової автокореляції даних твердості ґрунту і визначені процеси, що лежать в основі її формування.

Ключові слова: твердість ґрунту, фітоіндикація, багатовимірне шкалювання

G. A. Zadorozhna

Oles Honchar National University of Dnipropetrovsk, Ukraine

SPATIAL HETEROGENEITY OF INDUSTRIAL SOIL PLANTS: ECOLOGICAL APPROACH

The dynamics of spatial heterogeneity of the sod-lithogenic soils on gray-green clay in the environmental aspect has been studied in terms of hardness. The ecomorphic analysis of vegetation within the research area has been carried out. The ordination of data of soil hardness has been conducted by non-metric multidimensional scaling. The three-dimensional variant of multidimensional scaling has been applied. The relationship between the variation of the hardness of the soil and environmental factors has been established using phytoindicative scales. Using the

technique of spatial data analysis (PCNM) we have singled out the elements of spatial data autocorrelation of soil hardness and defined processes underlying its formation. It has been established that statistically significant phytoindicative scales describe from 6 to 42% of the variability of multidimensional measurements. The acidity of the soil solution mode is of value for the formation of the first coordinate axis and describes the presence in the plant community of steppe plant species, meadow plant species and heliomorphes. The axis marks the conditions determining soil hardness in layers of 0 – 10 cm as compared to those which are below the selected block. The second coordination axis reflects the opposing phenomena in the structure of the soil above and below the level of 25 cm from the surface. The highest value in its formation belongs to ombroclimate scale. The soil aeration scale and the contents of carbonate salts are essential for the formation of the third coordinate axis. Measurement points to such conditions under which the hardness of the soil in layers of 0–5, 15–25 and 40–50 cm is similar to each other, but differs from the hardness in layers 5–15 and 25–40 cm from the surface. In the process of fractionation of hardness variations of the soil under analysis we have established that environmental factors determine the 47 % of the total variability of the data. PCNM-variables describe 2% of the variation of indicators of soil hardness and spatial patterns deterministic environment – 27% of variability of feature. Herewith among the studied environmental factors the most important for the formation of large-scale variation in the spatial variability of hardness are the variability of moisture and thermoclimate. Both large-scale and small-scale spatial variations of soil hardness depend on the vegetation structure, i.e. the presence of trophomorphes of plants: steppe plant species and meadow plant species.

Key words: soil hardness (hardness of the soil), phytoindicate, multidimensional scaling

Рекомендує до друку

Надійшла 16.08.2016

В. В. Грубінко

УДК 575.224.477.84

М. А. КРИЖАНОВСЬКА

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ЦУКРОВОЇ ТА КРЕМЕНИСТОЇ

У статті представлені результати щодо впливу іонізуючого опромінення дозами 5Гр, 10Гр, 15Гр, 20Гр на зміну довжини стебла та довжини качана вологого насіння кукурудзи цукрової та кременистої. Експериментально встановлено, що опромінення насіння дозою 5Гр стимулює ріст стебла у цукрової кукурудзи на 14 см, а кременистої – на 6 см. Всі обрані дози іонізуючого опромінення викликають мутагенні зміни качанів кукурудзи.

Ключові слова: іонізуюче опромінення, радіація, мутагенна дія, цукрова та кремениста кукурудза

Дія іонізуючого опромінення на організми спричиняє іонізацію атомів і молекул і призводить до деструктивних змін на всіх структурно-функціональних рівнях її організації, оскільки радіація здатна накопичуватися впродовж певного часу [7, 10]. Особливістю дії іонізуючого опромінення на живі істоти є невідповідність між незначною дозою енергії, яка поглинається біологічним об'єктом, та ступенем вираження біологічного ефекту, аж до летального наслідку [1, 3, 11].

Після впливу іонізуючого опромінювання розвивається радіаційний синдром, що на початку зародження має спільні риси у рослин і тварин, але у подальшому набуває своєї специфіки. Рослини – це перший екран, що приймає на себе дію подібного випромінювання,