

ДОСЛІДЖЕННЯ Й ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ SOIL SURVEY and SOIL QUALITY ASSESSMENT

УДК 631.484

Связь пространственной вариации твердости чернозема с экологической структурой растительного сообщества

Г.А. Задорожная

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепр, Украина

ИНФОРМАЦИЯ	АННОТАЦИЯ
<p>Получено 20.01.2017 Получено после доработки: 12.09.2017 Подписано в печать: 15.11.2017 Доступно онлайн 05.12.2017</p> <hr/> <p><i>Ключевые слова:</i></p> <p><i>Твердость почвы; Морфологические элементы; Экологические факторы; Фитоиндикация; Растительные экоморфы; Ценоморфы</i></p>	<p>Исследование проведено с целью выявления связи пространственной вариации твердости почвы с факторами окружающей среды. Пространственная вариабельность твердости чернозема обыкновенного измерена по регулярной сетке (105 точек). Для получения информации о параметрах окружающей среды произведен экоморфический анализ растительности в каждой ячейке полигона. Установлена связь вариации твердости почвы по профилю с экологическими факторами. Кластерный анализ, проведенный на основе полученных статистических данных, позволил распределить имеющиеся профили изменения твердости почвы в три кластера с характерной для них, относительно однотипной динамикой свойства. Экологическое содержание разделения участков почвы на кластеры изучено с помощью дискриминантного и дисперсионного анализов. Показано, что различие кластеров является достоверно значимым для переменных шкал солевого режима, криорежима и режима освещенности. Индексы, основанные на экоморфах растений, показывают, что кластеры достоверно различимы по присутствию степантов и пратантов. Статистическая значимость изменений внешних признаков, сопряженных с пространственной неоднородностью почвенных участков, принадлежащих к разным кластерам, дает возможность их содержательного описания и подтверждает формирование экологического характера выявленных внегоризонтных почвенных образований. Обнаруженные почвенные структуры предложено называть почвенными экоморфами. Описанные элементы почвенного строения – почвенные экоморфы достоверно различаются по связанным с ними климатическим и эдафическим свойствам, а также по экологической структуре растительного сообщества.</p>

E-mail: zadorojhnayagalina@gmail.com

1. Введение

Центральной проблемой биогеоценологии является изучение природы и глубины взаимодействия между живыми и косными компонентами биогеоценоза. Связи между компонентами биогеоценоза определяют его структурно-функциональную организацию. Среди регулирующих механизмов основное значение имеют внутривидовые и межвидовые взаимосвязи растений, обусловленные трофическими зависимостями и трансформацией условий окружающей среды [1]. Как компонент биогеоценоза растительность выступает в качестве системы экоморф – определенных адаптаций отдельных видов к биоценозу в целом и к каждому из его структурных элементов. А.Л. Бельгардом детально разработана система экоморф для степи Украины, в которой в качестве эколого-ценотических групп выступают ценоморфы – приспособления видов к фитоценозу в целом [1; 2]. Одной из ветвей развития этого учения является разработка метода фитоиндикации биотопа, в основе которого лежит то обстоятельство, что фитоценоз формируется в определенном биотопе как результат адаптации к комплексу экологических факторов, а обилие и встречаемость определенных видов отражает приспособление к факторам среды, определяющим этот ценоз. Отнесение вида к той или иной ценоморфе определяется экспертно на основе анализа их встречаемости в различных типах фитоценозов. Так, например, виды растений, условия для проживания которых оптимальны в степи, названы степантами, на лугу – пратантами, в лесу – сивльвантами и т.д. На практике используются унифицированные фитоиндикационные шкалы [2; 3], одной из которых является рабочая система ценоморф, предложенная в сводке флоры Днепропетровской и Запорожской областей [4]. Фитоиндикационные шкалы, построенные на основе данных о предпочтениях видов растений к климатическим и эдафическим характеристикам местности произрастания (температуре, освещенности,

наличия питательных веществ, влажности и т.д.), являются удобным инструментом в оценке условий окружающей среды, так как требуют гораздо меньше трудозатрат, чем прямое измерение ее климатических и эдафических параметров.

Зоологами, в свою очередь, разработан метод зоологической диагностики почв, в нем таксономические группы крупных почвенных беспозвоночных используются в качестве надежных индикаторов состояния природных сообществ [5–8]. Экоморфический подход как в фитодиагностике так и в зоодиагностике основан на встречаемости видов в биогеоценозах разного типа и использует информацию о требованиях популяций к параметрам среды.

Согласно учению о биогеоценозе, почва является полноправным его компонентом. Более того, почве принадлежит особый статус биокосного тела. Многие свойства (например, обмен веществ и энергии), принадлежащие живым существам, характеризуют и почву. Г.М. Миньковский разноуровневые морфоэлементы почвы предлагает рассматривать как части живого организма, которые составляют функциональное целое: их функционирование объединено в единый процесс. Ученый считает, что в структурных задачах распределение объектов на «живые» и «неживые» не имеет значения, понятие «живого» имеет моральный смысл. Поиск новых форм активности почвенного тела авторы [9, 10] предлагают вести на морфологическом уровне организации. Мы считаем, что неоднородность почвенных свойств – это то явление, при изучении которого можно постичь закономерности существования почвы как компонента биогеоценоза. Вышесказанное диктует необходимость разработки экоморфического подхода в изучении почвы, как компонента биогеоценоза. Критерием, по которому можно судить об изменениях, происходящих в почве под воздействием факторов почвообразования, является твердость почвы. Как показано в наших предыдущих работах [5, 11–14], пространственная и временная динамика твердости коррелирует с вариациями большинства почвенных характеристик, создающих условия для роста растений и местообитания почвенных животных. Поэтому твердость – это полноценный диагностический признак, который может выступать как интегрированный показатель состояния почвенного тела [15, 16].

Целью данной работы является оценка связи пространственной вариации твердости чернозема с факторами окружающей среды посредством использования фитоиндикационных шкал.

2. Объекты и методы исследований

Сбор данных твердости почвы и описание растительности проводили в апреле 2014 г. на степном участке, находящемся на верхней части склона юго-восточной экспозиции балки «Камянистая» (южная окраина г. Днепр, 48°38'67" Ю.Ш., 35°09'05" З.Д). Полигон расположен вдоль склона уклоном 15°, сверху ограничивается лесополосой и примыкающим к нему сельскохозяйственным полем. Исследование проводили по регулярной сетке, которая состоит из 7 трансект по 15 точек измерения, расстояние между которыми составляет 3 м. Соответственно, размеры полигона составляют 42 м × 18 м.

Почва – чернозем обыкновенный эродированный сильнокарбонатный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. Данный участок в хозяйственной деятельности не используется. Фотография почвенного разреза и морфологическое описание были приведены ранее, в статье Задорожной Г.А. в выпуске 85 настоящего сборника [17].

Твердость почвы измеряли с помощью ручного пенетromетра *Eijkelpamp*. Средняя погрешность результатов измерений прибора составляет ± 8 %. Измерения сделаны конусом поперечного сечения 2 см² в каждой точке полигона на глубину 50 см через каждые 5 см (10 показателей твердости в каждой из 105 точек полигона).

Для оценки условий окружающей среды были использованы фитоиндикационные шкалы [3]. Они основаны на описании достатка растительности и дают возможность оценить условия окружающей среды по климатическим и эдафическим свойствам. Метод фитоиндикации использует данные представленности видов в растительном покрове изучаемого участка и границ толерантности видов к тем или иным факторам среды, то есть диапазон границ экологических минимумов и максимумов. К эдафическим фитоиндикационным шкалам относятся показатели почвенного увлажнения – шкала гидроморф (Hd), шкала переменности почвенного увлажнения (fH), которая учитывает

амплитуду изменения показателей влажности почвы, шкала уровня почвенной аэрации (Ae), кислотности почвенного раствора (Rc), общего солевого режима почвы (Si), содержания карбонатов в почве (Ca) и содержания минерального азота (Nt) в почве. К климатическим шкалам относят показатели тепловых свойств почвы – терморегим (Tm), соотношения тепла и влаги (гидротермические свойства) – омброрегим (Om), степень промерзания почвы – криорегим (Cr) и континентальности климата (Kn), которая рассматривается как значение функции годовой амплитуды температуры воздуха. Помимо перечисленных, выделяется ещё шкала освещенности (Lc), которую характеризуют как микроклиматическую шкалу.

Большое количество исследователей доказали, что растительные сообщества являются более точными и лучшими индикаторами свойств среды, чем отдельные виды, которые характеризуются более широкой экологической амплитудой и, как правило, принадлежат к разным типам сообществ. Поэтому, для более полной индикации в работе приведены шкалы ценоморф по А.Л. Бельгарду [1] и В.В. Тарасову [4]. Они дают возможность оценить биотоп в целом [2, 18] и по отношению к отдельным экологическим факторам [19]. Ценоморфы представлены степантами – степными видами растений, пратантами – луговыми видами растений, растениями песчаных почв – псаммофитами, лесными видами – силвантами и сорными – рудерантами. Степанты и пратанты составляют основную часть растительного покрова, поэтому именно эти экоморфы использованы как предикторы твердости почвы (переменные St и Pr – проективное покрытие соответствующих экоморф в %).

Количественные характеристики представленности экологических форм растений с разными предпочтениями к влажности условий обитания характеризуются шкалой гигроморф. 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:

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

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

Трофоморфы это экоморфы, приспособленные к определенным трофотопам. В растительном сообществе изученного участка они 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 – экологические формы растений, обусловленные особенностями солнечного освещения, – 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.

Оценка средних показателей, стандартной ошибки, доверительного интервала и коэффициента вариации (CV) произведена с помощью инструментов описательной статистики. Для определения уровня пространственной зависимости показателей твердости почвы применялся геостатистический кригинг. Уровень пространственной зависимости (SDL, *spatial dependence level*, пространственное отношение) рассчитан по формуле:

$$SDL = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \times 100,$$

где C_0 – нагет-эффект, C_1 – частичный порог.

Показатели C_0 и C_1 получены на основе моделирования вариограмм пространственной изменчивости твердости почвы.

Для распределения экспериментальных точек на группы с однотипной сменой твердости по профилю использован кластерный анализ. Дисперсионный и дискриминантный анализы применены для установления различий кластеров по внешним признакам.

3. Результаты и обсуждения

3.1 Изменения твердости почвы в вертикальном направлении

Средние значения твердости изученной толщи почвы в пространстве полигона изменяются от $1,45 \pm 0,04$ МПа до $2,46 \pm 0,06$ МПа (Табл. 1). Наименьшими параметрами характеризуется поверхностный слой (0–5 см) и слой 25–30 см. При продвижении вниз по почвенному профилю твердость в целом имеет тенденцию к увеличению. Наивысшими показателями характеризуется нижний изученный слой. Однако, можно отметить наличие локальных максимумов в слоях 15–20 и 30–35 см, под которыми твердость почвы несколько снижается. Коэффициент вариации показателей (CV) наиболее высок в слое почвы 5–10 см от поверхности (33,09 %). Параметры твердости почвы в слоях, расположенных выше и ниже (0-5 и 10-15 см) тоже высоко вариативны, коэффициенты вариации составляют 26,91 и 32,21 % соответственно. Наименее вариативны данные слоя почвы на уровне 20–25 см вглубь от поверхности (20,63 %), в остальных случаях коэффициент вариации колеблется в пределах 22,45–24,74 %.

Таблица 1

Описательные статистики твердости чернозема

Слой почвы, см	Среднее, МПа ± ст. ош. среднего,	Доверительный интервал		CV, %
		–95,00 %	+95,00 %	
0–5	1,45 ± 0,04	0,34	0,45	26,91
5–10	1,54 ± 0,05	0,45	0,59	33,09
10–15	1,52 ± 0,05	0,43	0,57	32,21
15–20	1,54 ± 0,03	0,31	0,41	22,92
20–25	1,51 ± 0,03	0,28	0,36	20,63
25–30	1,48 ± 0,03	0,29	0,39	22,45
30–35	1,52 ± 0,04	0,32	0,42	24,07
35–40	1,71 ± 0,04	0,36	0,48	24,14
40–45	2,08 ± 0,05	0,45	0,60	24,74
45–50	2,46 ± 0,06	0,52	0,69	24,28

Таблица 2

Геостатистические параметры пространственного варьирования твердости чернозема

Слой почвы, см	Порог	Наггет-эффект	SDL ¹ , %
0–5	0,05	0,08	58,78
5–10	0,09	0,12	56,83
10–15	0,14	0,04	23,36
15–20	0,08	0,02	19,70
20–25	0,01	0,09	90,20
25–30	0,07	0,02	24,51
30–35	0,08	0,02	19,75
35–40	0,13	0,01	7,47
40–45	0,20	0,01	8,08
45–50	0,21	0,04	16,14

¹ SDL – уровень пространственной зависимости – пространственное отношение

Описательная стадия исследования дает понятие об усредненном профиле, свойства которого слишком приближительны, о чем свидетельствует разница коэффициентов вариации, относящихся к данным разных слоев почвы. Для более глубокого анализа распределения показателей твердости почвы были использованы инструменты геостатистики (Табл. 2).

С помощью геостатистического анализа установлена степень пространственной зависимости данных твердости послойно. Такие показатели вариограмм как порог и наггет-эффект являются вспомогательными и дают возможность вычислить пространственное отношение SDL, которое указывает на степень

пространственной зависимости. При интерпретации показателя пространственной зависимости SDL следует учитывать, что если его уровень находится в пределах 0–25 %, то речь идет о сильной пространственной зависимости; если в пределах 25–75 %, зависимость переменной является умеренной; если превышает 75 %, переменная рассматривается как слабо пространственно зависимая [20, 21]. Согласно результатам наших исследований, данные твердости чернозема обладают средней степенью пространственной зависимости в слоях 0–5 и 5–10 см вглубь от поверхности. Данные твердости почвы, расположенной ниже 10 см, характеризуются как сильно зависимые. Исключение составляет слой почвы расположенный на уровне 20–25 см, в котором значение SDL свидетельствует о слабой пространственной зависимости данных.

3.2 Кластерный анализ профильных данных твердости

Кластерный анализ, проведенный на основе полученных геостатистических данных, позволил условно распределить имеющиеся профили изменения твердости почвы (105 точек) в три кластера с характерной для них, относительно однотипной динамикой свойства. Это дало возможность организовать наблюдаемые данные в наглядные структуры, для содержательного описания различий между ними. Близость сайтов оценена с помощью Эвклидова расстояния. В качестве правила объединения использован метод Варда.

Участки, принадлежащие одному кластеру, характеризуются однотипным изменением твердости с углублением. На рисунке 1 изображена динамика твердости почвы по профилю для каждого из выделенных кластеров.

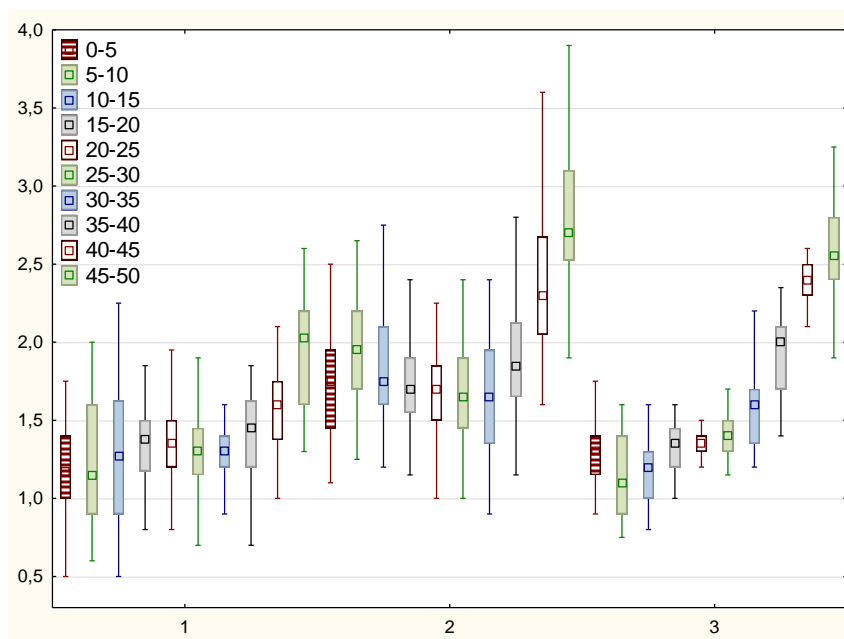


Рис. 1. Изменение значений твердости почвы с углублением по профилю, характерное для разных кластеров: по оси абсцисс – номера кластеров, по оси ординат – твердость почвы, МПа; 0-5 ... 45-50 – глубина залегания слоя, см

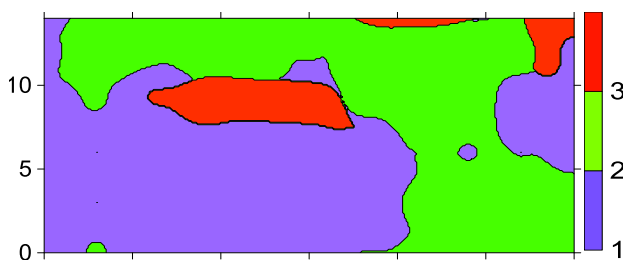


Рис. 2. Пространственное расположение кластеров твердости почвы на полигоне (расстояние, м)

Кластер 1 представлен такими участками почвы, в которых твердость с углублением существенно не меняется и, в среднем, не принимает значений выше 1,5 МПа до уровня 40 см, после чего резко повышается до 2,2 МПа. Почвенные участки, объединяемые кластером 2, характеризуются сравнительно высокими параметрами твердости поверхностного и следующего за ним (5–10 см) слоев почвы. Их абсолютные значения сравнимы со средними значениями

Кластер 1 представлен такими участками почвы, в которых твердость с углублением существенно не меняется и, в среднем, не принимает значений выше 1,5 МПа до уровня 40 см, после чего резко повышается до 2,2 МПа. Почвенные участки, объединяемые кластером 2, характеризуются сравнительно высокими параметрами твердости поверхностного и следующего за ним (5–10 см) слоев почвы. Их абсолютные значения сравнимы со средними значениями

самых глубоких изученных слоев кластера 1. При продвижении вниз по профилю твердость почвы участков кластера 2 на уровне 15–35 см имеет некоторую тенденцию к снижению, а ниже 35 см стремительно возрастает до максимальных значений. Кластер 3 объединяет случаи, когда твердость почвы слоя 5–10 см от поверхности ниже твердости слоя, расположенного над ним (0–5 см). При движении вниз по профилю твердость почвы участков, относящихся к кластеру 3, увеличивается плавно, а после 35 см – резко. Кластеры располагаются достаточно компактно. Первый и второй занимают примерно одинаковую площадь изученного полигона, третий – существенно меньшую (Рис. 2). Экологическое содержание разделения участков почвы на кластеры изучено с помощью дискриминантного анализа.

3.3 Дискриминантный анализ

Основная идея дискриминантного анализа заключается в том, чтобы определить, отличаются ли совокупности по среднему какой-либо переменной или комбинацией переменных. В нашем случае он используется для обнаружения экологических факторов, связанных с определенными почвенными профилями, характерными для каждого из трех кластеров. Факторы внешней среды выражены через фитоиндикационные шкалы, определенные по количественному и качественному анализу растительного сообщества изученного участка [3, 4]. Правомерность такого подхода обсуждается в ряде работ [2, 3, 22]. Результаты дискриминантного анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3

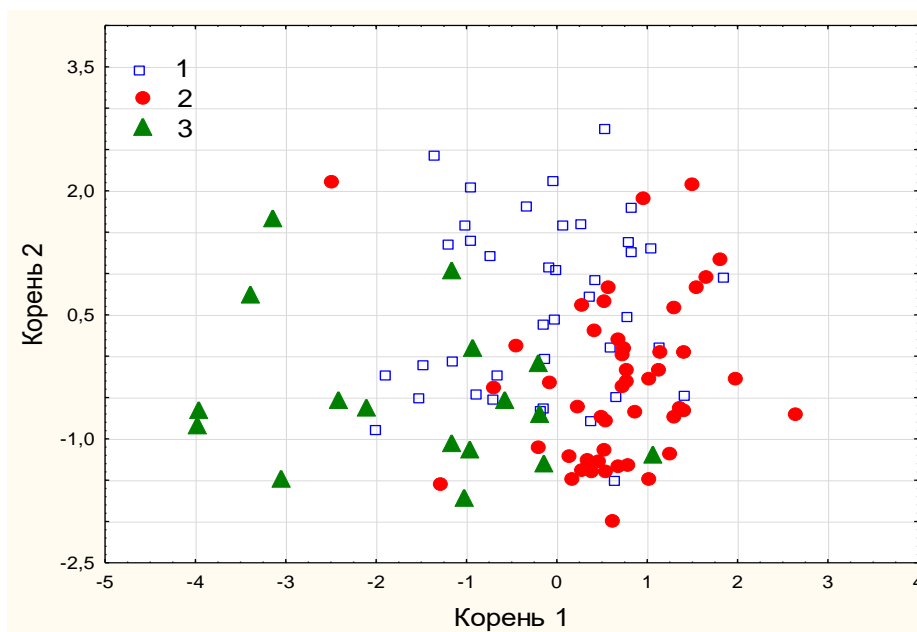
Общие итоги дискриминантного анализа

Фитоиндикационные шкалы	Кoeffициенты дискриминантного анализа			Факторная структура первых двух дискриминантных функций	
	Лямбда Уилкса	F-критерий	p-уровень	Корень 1	Корень 2
<i>Фитоиндикационные шкалы</i>					
Hd	0,58	0,29	0,75	-0,26	0,00
ffl	0,58	0,10	0,90	-0,10	-0,01
Rc	0,59	0,49	0,62	0,29	-0,08
Sl	0,63	3,48	0,03	0,69	0,37
Ca	0,59	0,48	0,62	-0,03	0,32
Nt	0,58	0,31	0,73	-0,20	-0,04
Ae	0,59	1,01	0,37	0,26	0,32
Tm	0,61	2,05	0,13	-0,69	-0,25
Om	0,61	2,49	0,09	-0,66	-0,37
Kn	0,58	0,33	0,72	-0,18	0,08
Cr	0,65	5,22	0,01	0,87	0,28
Lc	0,65	5,78	0,00	0,33	-1,00
<i>Индексы, основанные на экоморфах растений</i>					
Hu _{gr}	0,71	0,13	0,88	0,16	0,24
Troph_B	0,73	1,52	0,22	0,36	-1,01
St	0,82	7,99	0,00	0,94	0,28
Pr	0,82	7,72	0,00	-0,95	0,24
Hel	0,71	0,10	0,91	0,01	1,38

Примечание. Hd – шкала гидроморф, ffl – переменность увлажнения, Rc – режим кислотности, Sl – солевой режим, Ca – содержание карбонатных солей, Nt – содержание усваиваемых форм азота, Ae – аэрация, Tm – терморезим, Om – омброрезим, Kn – континентальность климата, Cr – криорезим, Lc – шкала освещения, Hu_{gr} – гигроморфы, Troph_B – трофоморфы, St – степанты, Pr – пратанты, Hel – гелиоморфы.

Согласно данным, представленным в таблице 3, различие кластеров является достоверно значимым для переменных шкал солевого режима, криорезима и режима освещенности. Индексы, основанные на экоморфах растений, показывают, что кластеры достоверно различимы по присутствию таких ценоморф как степанты и пратанты.

Корни дискриминантных функций, представленные в таблице 3, позволяют очертить факторную структуру и дискриминировать кластеры между собой по установленным различиям (Рис. 3).



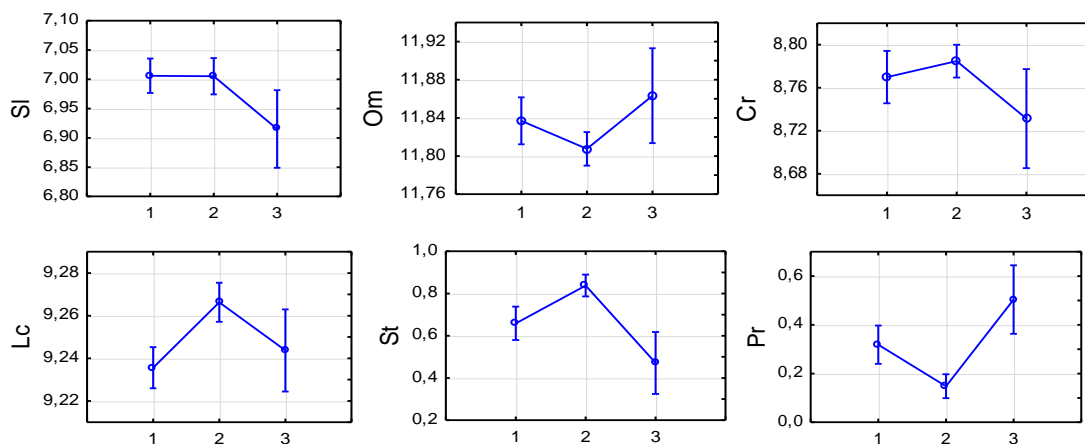
Условные обозначения: 1,2,3 – кластеры

Рис. 3. Диаграмма рассеяния для первых двух дискриминантных функций

На рисунке 4 отчетливо видно обособление кластера 2 от кластера 3 по оси первой дискриминантной функции (корень 1) и первого кластера от второго и третьего по оси второй дискриминантной функции (корень 2). Различия кластеров по признакам, которые показали достоверность, иллюстративно показаны на рисунке 5.

3.4 «Дисперсионный анализ»

Наиболее отличающимся по выделенным характеристикам является третий кластер. Он характеризуется сравнительно низкими показателями по шкалам солевого режима, криоклимата, самыми высокими показателями по шкале омброклимата и наибольшим проективным покрытием пратантов. Второй кластер отличают от других наименьшие показатели шкалы омброклимата, самые высокие значения шкал криоклимата и освещенности территории и наибольшим представительством в растительном сообществе степантов. Первый кластер в большинстве случаев занимает промежуточное положение между вторым и третьим по вышеобозначенным показателям. Его отличительной особенностью являются самые низкие значения по шкале освещенности.



Примечание: По оси ординат – значение соответствующей шкалы, по оси абсцисс – номера кластеров.

(SI – солевой режим, Om – омброрезим, Cr – криорезим, Lc – шкала освещения, St – степанты, Pr – пратанты)

Рис. 5. Результаты дисперсионного анализа различий кластеров по шкалам солевого режима, омброклимата, криоклимата, степантов и пратантов

Результаты исследования показывают, что твердость исследованной почвы в целом имеет тенденцию увеличиваться с глубиной, однако характер такого увеличения существенно отличается в разных точках опытного участка и формирует характерные профили по изменению твердости. Точки, в которых изменение твердости с углублением имеет одинаковый характер, связаны с определенными характеристиками внешней среды и достоверно отличаются по ним от точек, где характер изменения твердости иной. Кроме того, эти изменения связаны с распределением в растительном сообществе видов с отличающимися предпочтениями к влажности, трофности и освещенности среды. Профили с однотипной сменой твердости располагаются достаточно компактно, объединяясь в кластеры, которые занимают определенную территорию и формируют наглядные структуры. Связь изменения твердости в профиле почвы с конкретными экологическими характеристиками и экологическими формами растений говорит об экологическом характере формирования почвенного строения, а выделенные почвенные структуры – кластеры мы предлагаем называть почвенными экоморфами.

Почвенные экоморфы – это элементы пространственной организации почвы надгоризонтного уровня, которые обладают собственными размерами, формой, определенными закономерностями распределения в пространстве. Для экоморф чернозема изученного участка, отличающихся снижением показателей твердости почвы на уровне 5–35 см ниже поверхности, характерно относительно небольшое содержание солей в почвенном растворе, наибольшее промерзание почвы и относительная гумидность микроклимата. В растительном сообществе таких участков представителей луговой растительности больше, чем на соседних. Почвенные экоморфы, которые отличаются высокими показателями твердости поверхностного и следующего за ним (5–10 см) слоев почвы, характеризуют, напротив, степной микроклимат, сравнительно меньшее промерзание и наиболее интенсивная освещенность территории. На таких участках зафиксировано преобладание представителей степной растительности. Участки почвы, в которых твердость существенно не меняется и, в среднем, не принимает значений выше 1,5 МПа до уровня 40 см, после чего резко повышается, связаны с такими растительными условиями, которые характеризуются наименьшей освещенностью. Так как твердость почвы сильно зависит от характеристик растительного сообщества [13, 21, 24], можно предполагать, что сами растения принимают активное участие в формировании почвенных экоморф. Различная способность к десукции и разноуровневость корневых систем моделирует почвенное пространство, неравномерно иссушая его слои и тем самым способствуя созданию неоднородности почвенных условий.

Связь почвенного экоморфического строения с факторами среды доказывает их функциональную зависимость. Мы считаем, что формирование экоморфического строения – это способ взаимодействия почвы, как составляющей биогеоценоза, с другими его компонентами. Под экоморфическим строением мы понимаем особенности структуры (в широком смысле слова) почвенных экоморф и их взаимное расположение в окружающем почвенном материале как частей, составляющих одно целое – почвенное тело. Почвенные экоморфы выявлены в разных типах почв и отличаются по форме и строению [14, 15, 25–27]. Их можно называть элементами неоднородности, так как они отличаются по критерию твердости от смежных элементов организации – почвенного материала, в котором располагаются. Эти морфологические образования являются естественными элементами организации почвы как природного тела, так как они отделены от смежного почвенного пространства градиентными границами, которые относят к наиболее «естественным», поскольку их положение в почвенном пространстве в наименьшей степени обусловлено позицией и взглядами исследователя [28]. В течение сезона с изменением температурных условий, условий увлажнения, облика растительного сообщества конфигурация экоморф меняется [17]. Обнаружение почвенных экоморф решает классификационные задачи иерархии морфологических элементов, обозначенные рядом авторов [30, 31]. Кроме того, почвенные экоморфы могут оказаться одним из недостающих звеньев диатропической системы живого мира Земли [32], элементарной единицей организации которого является биогеоценоз.

Результаты нашего исследования раскрывают некоторые механизмы

взаимодействия почвы, как компонента биогеоценоза, с другими его компонентами и обрисовывают интегрированную картину происходящих в ней процессов-посредников между факторами почвообразования и свойствами почв. Свойства почв определяют ее функции, важнейшей из которых является ее роль в сохранении биоразнообразия. Речь идет не о биоразнообразии, которое связано с таксономическим разнообразием почв в глобальных масштабах, а об обеспечении существования огромного количества видов живых существ в таксономически одинаковых почвах. Даже в пределах одного биогеоценоза в подавляющем большинстве случаев количество видов соизмеримо с числом видов почв, выделяемых почвоведом [28, 30, 31]. И растения, и животные, и микроорганизмы находят себе экологическую нишу, которая целиком или частично размещается в почвенном пространстве. Сосуществование видов с разными требованиями к почвенной среде возможно благодаря наличию почвенного экоморфического строения, которое обеспечивает благоприятные условия для жизни организмов с разными, порой противоположными требованиями к условиям существования.

4. Выводы

Твердость чернозема обыкновенного в целом увеличивается с глубиной, однако характер такого увеличения существенно отличается в разных точках опытного участка и формирует характерные профили по изменению твердости.

Однотипные по признаку вертикального изменения твердости участки достаточно компактно объединяются в кластеры и названы нами почвенными экоморфами.

Обнаруженные почвенные морфологические образования достоверно различаются по связанным с ними климатическим и эдафическим свойствам, а также по экологической структуре растительного сообщества.

Список использованной литературы

1. *Бельгард А.Л.* Степное лесоведение. Москва: Лесная промышленность, 1971. 336 с.
2. *Назаренко Н.Н.* Ценоморфы как фитоиндикаторы биотопов. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2016. Т. 24, № 1. С. 8-14.
3. *Дідух Я.П.* Основи біоіндикації. К.: Наукова думка, 2012. 344 с.
4. *Тарасов В.В.* Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біолого-екологічна характеристика видів. Д.: Вид-во ДНУ, 2005. 276 с.
5. *Андрусевич Е.В.* Зоологический метод диагностики техноземов. Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование: Сборник материалов международной научной конференции (10 – 15 июня 2013 г.) / Под ред. В.А. Андрюханова (отв. ред.). Новосибирск: издательство Окарина, 2013. С. 55–57.
6. *Гиляров М.С.* Почвенные беспозвоночные как индикаторы почвенного режима и его изменений под влиянием антропогенных факторов. Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. М.: Наука, 1982. – С. 8–12.
7. *Жуков А.В.* Зоологическая диагностика почв на основе анализа трофической структуры почвенной мезофауны степного Приднепровья. Экология и ноосферология, 2003. Т. 13, № 1–2. С. 104–112.
8. *Криволицкий Д.А.* Почвенная фауна в экологическом контроле. М.: Наука, 1994. 269 с.
9. *Миньковский Г.М.* Структурный подход в почвоведении. *Почвоведение*. 1995. №7. С. 9-18.
10. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. М: "Академический проект", 2004. 432 с.
11. *Бондарь Г.А., Жуков А.В.* Экологическая структура растительного покрова, сформированного в результате самозарастания дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2011. № 1. С. 54–62.
12. *Жуков А.В., Кунах О.Н., Коновалова Т.М.* Пространственное размещение пороев слепышей (*Spilax microphthalmus*) и твердость почвы. Поволжский экологический журнал. 2013. № 1. С. 3–15.
13. *Медведев В.В.* Твердость почв. Харьков: Городская типография, 2009. 152 с.
14. *Zhukov A., Zadorozhnaya G.* Spatial heterogeneity of mechanical impedance of a typical chernozem: the ecological approach. *Ekologia (Bratislava)*. 2016. Vol. 35, № 3. P. 263-278.
15. *Soil layer models created with profile cone penetrometer data / Grunwald S., McSweeney K., Rooney D.J., Lowery B. Geoderma*. 2001. V. 103, № 1–2. P. 181–201.
16. *Cecilia M., Jesus H.C., Cortes C.A.* Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. *Eng. Agric. Jaboticabal*. 2012. V. 32, № 1. P. 91–101.
17. *Задорожная Г.А.* Сезонная динамика экоморфического строения чернозема. *Агроекологія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 85. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2016. С. 53–60.
18. *Marinšek A., Čarni A., Šilc U., Manthey M.* What makes a plant species specialist in mixed broad-leaved deciduous forests? *Plant Ecology*. 2015. V. 216, № 10. P. 1469–1479.
19. *Kleshcheva E.A.* Indicator properties of Southern Siberian plants with respect to soil moisture. *Russ. J. Ecol.*

2010. V. 41, № 6. P. 480–485.

20. *Field scale variability of soil properties in central Iowa soils* / Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M. [et al.]. *Soil Science Soc. Am.* 1994. Vol. 58. P. 1501–1511.

21. *Boogaart K.Gerald*. Package 'tensorA'. Advanced tensors arithmetic with named indices. 2010. 48 с. URL: <http://www.stat.boogaart.de/tensorA>

22. Жуков А.В. Фитоиндикационное оценивание измерений, полученных при многомерном шкалировании структуры растительного сообщества. Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого. 2015. № 1. С. 69–93.

23. *Lipies J., Hatano H.* Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*. 2003. V. 116, № 1–2. P. 107–136.

24. *Hamza M.A., Anderson W.K.* Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 2005. V. 82, № 2. P. 121–145.

25. Жуков А.В., Задорожня Г.А. Роль внегоризонтных почвенных морфоструктур в организации растительности дерново-литогенных почв на лёссовидных суглинках (Никопольский марганцево-рудный бассейн). Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Сер.: біологія. 2015. Вип. 24. С. 171–186.

26. Жуков А.В., Задорожня Г.А. Оценка экоморфогенеза педозема и чернозема обыкновенного на основе показателей твердости. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 84. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2015. С. 72–80.

27. Задорожна Г.О. Екологічний аспект просторової неоднорідності едафотопів техногенного походження. Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки. 2016. Т. 332, № 7. С. 106–116.

28. *Дмитриев Е.А.* Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М.: ГЕОС, 2001. 374 с.

29. *Захарченко А.В., Захарченко Н.В.* Опыт трехмерного отражения поверхностей почвенных горизонтов в натурных исследованиях. *Почвоведение*. 2006. № 2. С. 153–160.

30. *Chesson P.* Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 2000. Vol. 31. P. 343–366.

31. *Strategies of ecological extrapolation* / Peters, D.P.C., Herrick, J.E., Urban, D.L. [et al.]. *Oikos*. 2004. Vol. 106. P. 627–636.

32. *Чайковский Ю.В.* Активный связанный мир. Опыт теории эволюции жизни. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 726 с.

UDC 631.484

Connection of spatial variation of chernozem penetration resistance with environmental plant organization structure

G.A Zadorozhnaya

Oles Honchar Dnipropetrovs'k National University, Dnipro, Ukraine

E-mail: zadorozhnayagalina@gmail.com

Study was conducted in order to detect the spatial variation of soil the penetration resistance due to environmental factors. Spatial variability of the chernozem ordinary penetration resistance measured on a regular grid (105 points). For information about environmental measurements the ecomorphic analysis of vegetation in each landfill cell has been made. With the help of geostatistics and cluster analysis, the experimental polygon was divided into areas with the one-typical changes in penetration resistance by profile. The connection of the dynamics of soil the penetration resistance within profile with environmental factors has been revealed. Cluster, discriminant and dispersion analyzes were used for this purpose. Soil ecomorphes have been described as elements of the soil structure to be significantly differ in their associated climatic and edaphic properties, as well as on the ecological structure of plant communities.

Keywords: *Soil penetration resistance; Morphological features; Environmental factor; Phytoindication; Vegetable ecomorphs; Cenomorphs.*