



УДК 631.421+622.882

БУДОВА ДЕРНОВО-ЛІТОГЕННОГО ҐРУНТУ НА ЧЕРВОНО-БУРІЙ ГЛИНІ В ЕКОЛОГІЧНОМУ АСПЕКТІ

Г. О. Задорожна

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара
просп. Гагаріна, 72, Дніпро 49010, Україна
e-mail: zadorojhnayagalina@gmail.com*

Досліджена динаміка просторової неоднорідності дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині за показниками твердості. Проведено екоморфічний аналіз рослинності експериментальної ділянки. Способом неметричного багатовимірного шкалювання здійснена ординація даних твердості ґрунту. Застосовано тривимірний варіант багатовимірного шкалювання. Взаємозв'язок варіювання твердості ґрунту і чинників навколишнього середовища встановлений під час використання фітоіндикаційних шкал. За допомогою техніки просторового аналізу даних (PCNM) виділено елементи просторової автокореляції даних твердості ґрунту і визначено процеси, що лежать в основі її формування. Встановлено, що статистично значущі фітоіндикаційні шкали описують від 7 до 49 % варіабельності вимірів багатовимірного простору. Для формування першої координатної осі значення має температурний режим ґрунту і кріорежим. Вісь маркує умови, що відрізняють твердість ґрунту в шарах 10–35 см від тих, які розташовані вище і нижче виділеного блоку. Друга координатна вісь відображає протилежні явища в будові ґрунту вище і нижче рівня 20 см і описує представленість у рослинному угрупованні гігоморф. Найвище значення у формуванні третьої координатної осі мають шкали освітлення й омброрежиму. Вимірювання виділяє контрастність за ознакою твердості на рівні 10–35 см від оточуючих ґрунтових шарів. Під час фракціонування варіації твердості ґрунту вивченої ділянки встановлено, що чинники зовнішнього середовища визначають 56 % загальної варіабельності отриманих даних. PCNM-змінні описують 7 % варіювання показників твердості ґрунту, а просторові патерни, що детерміновані зовнішнім середовищем, – 10 % мінливості ознаки. У цьому разі для опису широкомасштабної просторової компоненти найбільш значущими чинниками зовнішнього середовища є вміст карбонатних солей, засвоєваних форм азоту, термо- й омброрежим, сольовий режим і континентальність клімату. Компоненти просторової мінливості твердості з великим періодом коливання пов'язані з розподілом рослинних гігоморф. Просторова мінливість детальномасштабної компоненти залежить від аерації ґрунту й омброрежиму. Високочастотні періодичні коливання твердості мають зв'язок з такими чинниками як аерація ґрунту, омброклімат, а також зі структурою розподілу трофоморф, гігоморф і геліоморф.

Ключові слова: твердість ґрунту, фітоіндикація, багатовимірне шкалювання.

ВСТУП

Для утворення ґрунтової структури та здійснення ґрунтом його функцій просторова неоднорідність є фундаментальною умовою. Неоднорідність фізико-хімічних властивостей і ґрунтово-фізичних процесів простежується на кожному ієрархічному рівні ґрунту [11, 18, 45]. Високий рівень неоднорідності мають рекультивовані ґрунти [10, 58]. Дослідження їхніх властивостей є дуже актуальним завданням сучасної науки [27, 53].

Неоднорідність ґрунтів у вертикальному напрямку обумовлена віддаленням від поверхні й інтенсивністю ґрунтоутворювального процесу. Горизонтальну просторову гетерогенність властивостей ґрунтів пов'язують із мозаїчністю будови біогеоценозів [3, 19]. Межі між елементарними одиницями цієї мозаїки проводять за критерієм зміни рослин-домінантів. На прикладі соснових лісів з'ясовано, що в деяких випадках вони реалістично відображають зміну властивостей ґрунту [23–26, 35]. Однак життєдіяльність рослинного співтовариства – не єдиний чинник неоднорідності ґрунтів. Серед причин, які формують гетерогенність ґрунтових умов, виділяють біотичну компоненту, гідротермічні й літолого-геоморфологічні чинники [29, 41, 56]. Багатофакторність умов ускладнює створення єдиного підходу до визначення ґрунтової неоднорідності і її функціональних зв'язків. Процедури розмежування елементів неоднорідності і їхні результати принципово різняться залежно від того, за якою ознакою або властивістю встановлюється неоднорідність. Неоднорідним ґрунт може бути за кислотністю, гранулометричним і агрегатним складом, вологістю, вмістом хімічних елементів тощо [9, 14, 30, 41, 43, 49, 54]. Залежно від того, якими критеріями користуються під час встановлення неоднорідності ґрунтового простору, межі можуть мати свої особливості й проходити в різних місцях. Тому найефективніше у разі розмежування ґрунтового простору як критерії використовувати інтегральні характеристики ґрунтових властивостей. Такі характеристики мають відображати композитні зміни властивостей ґрунтового простору. Подібною властивістю ґрунту є її твердість. Твердість – це високоінформативний маркер, який відображає фізичний стан ґрунтового тіла [30, 55, 59]. Просторове варіювання твердості достовірно корелює з такими показниками як щільність складання, електропровідність, проективне покриття, фітомаса, агрегатний склад верхнього шару ґрунту [4, 52]. Твердість залежить від гранулометричного складу, вмісту у ґрунті органічної речовини, складу поглинених катіонів [30]. Твердість ґрунту є лімітуючим чинником для рослинного покриву. Глибина виникнення граничної твердості бере участь у формуванні ділянки екологічного простору з найбільшими продукційними характеристиками, а наближення порогової твердості до поверхні ґрунту пов'язане зі зміною видового багатства досліджуваного рослинного угруповання [4]. Це обумовлює перспективність використання твердості у ґрунтових і агрохімічних дослідженнях [8, 15, 16, 40, 44].

Мета цієї роботи – з'ясувати вплив чинників навколишнього середовища на формування неоднорідності рекультивованого ґрунту за показниками його твердості.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Збір матеріалу проводили в червні 2013 р. на ділянці рекультивації Нікопольського марганцеворудного басейну в м. Орджонікідзе (Дніпропетровська обл., Україна). Експериментальну ділянку із вивчення оптимальних режимів сільськогосподарської рекультивації утворили у 1968–1970 рр. на зовнішньому відвалі

Запорізького марганцеворудного кар'єру. На цій ділянці були створені штучні едафотопи двох типів. Перший являє собою сплановані розкривні породи товщиною 2 м, які були винесені з різних глибин. Другий – на спланованій суміші розкривних порід із відсипанням на їхню поверхню різних за потужністю шарів чорноземної маси. Як об'єкт цього дослідження був обраний дерново-літогенний ґрунт на червоно-бурій глині. Назва ґрунту наведена за Л.В. Єстеревською [13]. У даний час тип рослинності представлений бобово-злаковою сумішшю і різнотрав'ям.

Дослідний полігон являє собою регулярну мережу, котра складається з точок відбору проб, відстань між якими становить 3 м, і складається зі 7 трансект по 15 проб. Відповідно, його розміри становлять 42×18 м.

Для вимірювання твердості ґрунту був використаний ручний пенетромметр Eijkelkamp [7, 17, 32, 55, 58–60]. Середня похибка результатів вимірювань приладу становить ± 8 %. Вимірювання твердості ґрунту зроблені конусом поперечного перерізу 2 см^2 у кожному осередку полігону.

Фітоіндикаційні шкали наведено за Я.П. Дідухом [29]. До едафічних фітоіндикаційних шкал належать показники гідроморф (Hd), змінності зволоження (fH), аерації (Ae), режиму кислотності (Rc), сольового режиму (Sl), вмісту карбонатних солей (Ca), вмісту засвоюваних форм азоту (Nt). До кліматичних шкал належать показники терморезиму (Tm), омброрезиму (Om), кріорезиму (Cr) і континентальності клімату (Kn). Крім зазначених, виділяється ще шкала освітлення (Lc), яку характеризують як мікрокліматичну шкалу. Теплові властивості ґрунтів індикуються шкалою терморезиму, а гідротермічні – шкалою омброрезиму. Ценоморфи рослин наведені за А.Л. Бельгардом [2] і В.В. Тарасовим [50]. Ценоморфи представлені степантами, пратантами, псамофітами, сільвантами і рудерантами. Степанти і сільванти становлять основну частину рослинного покриву (95 %), тому саме ці екоморфи використані як предиктори твердості ґрунту (змінні St і Pr – проектне покриття відповідних екоморф у %). Гігроморфи представлені ксерофітами (рівень вологості 1), мезоксерофітами (рівень вологості 2), ксеромезофітами (рівень вологості 3), мезофітами (рівень вологості 4), гігомезофітами (рівень вологості 5). Рівень вологості за гігроморфічною структурою (Hygr) оцінено як:

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

де i – рівень вологості; P_i – проективне покриття рослин відповідної гігроморфи.

Трофоморфи представлені оліготрофами (рівень трофності 1), мезотрофами (рівень трофності 2) і мегатрофами (рівень трофності 3). Рівень трофності за трофоморфічною структурою (Troph_B) оцінено як:

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

де j – рівень трофності; P_j – проективне покриття рослин відповідної трофоморфи.

Геліоморфи представлені геліосціофітами (рівень освітлення 2), сціогеліофітами (рівень освітлення 3), геліофітами (рівень освітлення 4). Рівень освітлення за геліоморфічною структурою (Hel) оцінено як:

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

де z – рівень освітлення; P_z – проективне покриття рослин відповідної геліоморфи.

Для статистичних розрахунків використано методи описової статистики. Для зниження розмірності простору показників твердості ґрунту було використано неметричне багатовимірне шкалювання [31, 34, 46, 51]. У цьому разі для отримання найбільшої рангової кореляції проводили вибір міри зв'язку між об'єктами, а також попереднє перетворення первинних даних [22]. Як заходи зв'язку використовували такі метрики: евклідова, манхеттенська, Гувера, Брея–Куртиса, Кульчинського, Морисита, Горна–Морисита, Као, Жаккара, Маунфорда, Рауп–Крика, Канберра, Чао, Махаланобіса [36]. Можливі варіанти перетворення даних: витяг логарифма, кореня квадратного, ділення на маргінальну суму, ділення на маргінальний максимум, ділення на маргінальну суму та помноження на число ненульових значень, нормалізація даних, стандартизація до діапазону 0–1, перетворення Хеллінджера, хі-квадрат перетворення і вісконсіанська трансформація [47, 59].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Твердість дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині закономірно збільшується з глибиною, що зрозуміло й обумовлено тиском верхніх ґрунтових шарів на нижні (табл. 1).

Середні значення твердості ґрунту коливаються у межах $2,09 \pm 0,10$ МПа на поверхні до $7,04 \pm 0,22$ МПа на глибині 50 см униз за профілем. Коефіцієнт кореляції найвищий на поверхні (49,2 %), трохи знижується за профілем і має ще один локальний максимум варіативності ознаки у шарі 20–25 см нижче поверхні (42,2 %) (табл. 1).

Таблиця 1. Описова статистика твердості ґрунту

Table 1. Descriptive statistics of soil penetration resistance

Відстань від поверхні, см	Середнє, МПа	Довірчий інтервал		CV, %
		– 95 %	+ 95 %	
0–5 см	$2,09 \pm 0,10$	1,89	2,28	49,2
5–10 см	$3,94 \pm 0,15$	3,64	4,24	39,6
10–15 см	$4,89 \pm 0,18$	4,53	5,25	38,4
15–20 см	$5,31 \pm 0,19$	4,92	5,70	38,0
20–25 см	$5,43 \pm 0,22$	4,98	5,87	42,2
25–30 см	$5,90 \pm 0,22$	5,46	6,35	38,9
30–35 см	$6,18 \pm 0,24$	5,70	6,66	39,9
35–40 см	$6,45 \pm 0,23$	5,99	6,92	37,3
40–45 см	$6,79 \pm 0,21$	6,35	7,22	33,1
45–50 см	$7,04 \pm 0,22$	6,60	7,49	32,6

У табл. 2 наведені результати обчислення кореляції Спірмена з матрицями дистанцій між сайтами відбору проб, встановленими за твердістю ґрунту і матрицями дистанцій, знайденими на основі чинників навколишнього середовища. Аналіз отриманих даних свідчить про те, що найбільшою кореляцією з чинниками середовища характеризується матриця на основі Манхеттеновської метрики з показниками, попередньо поділеними на маргінальну суму і помноженими на число ненульових значень. Для подальших обчислень експериментальні дані будуть використовуватись у перетвореному цим способом вигляді.

Таблиця 2. Коефіцієнти рангової кореляції Спірмена матриць мір відмінності-подібності між сайтами відбору проб за твердістю ґрунту і змінних навколишнього середовища

Table 2. Coefficients of spearman rank correlations between dissimilarity indices and gradient separation defined with different data transformation methods

Метрика	Спосіб трансформації даних										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Евклідова	0,12	0,13	0,13	0,09	0,19	0,20	0,09	0,19	0,12	0,13	0,15
Манхеттенівська	0,15	0,15	0,15	0,11	0,19	0,21	0,10	0,19	0,12	0,13	0,16
Гувера	0,19	0,14	0,17	0,14	0,19	0,19	0,12	0,19	0,14	0,14	0,17
Брея–Куртиса	0,10	0,13	0,13	0,11	0,15	0,16	0,10	0,09	0,13	0,13	0,16
Кульчинського	0,11	0,13	0,13	0,11	0,16	0,16	0,10	0,09	0,13	0,13	0,16
Морисита	–	–	–	-0,05	0,14	-0,10	0,00	0,13	-0,03	-0,06	0,01
Горна–Морисита	0,09	0,12	0,12	0,09	0,15	0,15	0,09	0,08	0,12	0,13	0,15
Као	0,13	0,12	0,13	0,02	0,13	0,13	0,15	0,09	0,13	0,13	0,13
Жаккара	0,10	0,13	0,13	0,11	0,15	0,16	0,10	0,09	0,13	0,13	0,16
Моунфорда	–	–	–	–	–	–	–	0,00	–	–	–
Рауппа–Крика	–	–	–	–	–	–	–	0,02	–	–	–
Канберра	0,15	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,13	0,08	0,14	0,14	0,14
Чао	–	–	–	–	–	–	–	0,00	–	–	–
Махаланобіса	0,13	0,08	0,11	0,07	0,13	0,13	0,07	0,13	0,09	0,07	0,07

Умовні позначення: 1 – дані не трансформовані; 2 – логарифмовані дані; 3 – корінь квадратний; 4 – дані, поділені на маргіальну суму; 5 – дані, поділені на маргіальний максимум; 6 – дані, поділені на маргіальну суму і помножені на число ненульових значень; 7 – нормалізовані дані (маргіальна сума квадратів значень дорівнює 1); 8 – стандартизовано до діапазону 0–1; 9 – перетворення Хеллінджера; 10 – χ^2 -трансформація; 11 – вісconsinська трансформація

Symbols: 1 – untransformed data; 2 – log-transformed data; 3 – square-root transformed data; 4 – divided by margin total; 5 – divided by margin maximum; 6 – divided by margin maximum and multiplied by the number of non-zero items, so that the average of non-zero entries is one; 7 – normalized (margin sum of squares equal to one); 8 – standardized values into range 0–1; 9 – Hellinger transformation; 10 – χ^2 -transformation; 11 – Wisconsin transformation

Для визначення ступеня подібності між вихідною матрицею відстаней і відстанями між точками вводиться функція стресу. Стрес, рівний нулю, означає повну тотожність порівнюваних матриць. Завдання ординації зводиться до підбору таких координат точок у новому просторі, щоб величина стресу між модельною й емпіричною матрицею була мінімальною, а, відповідно, подібність матриць – максимальною.

Проведені розрахунки свідчать про те, що тривимірний варіант багатовимірного шкалювання достатній для точного відображення вихідного масиву даних твердості ґрунту, оскільки збільшення числа вимірювань вище зазначеного не забезпечує істотного приросту точності відображення (рис. 1).

Інтерпретація знайдених вимірювань здійснюється на основі аналізу матриці середньозважених значень багатовимірних осей для показників твердості ґрунту

(табл. 3). Чинники ваги дають змогу ранжувати, упорядковувати об'єкти (якими в нашому випадку є твердість ґрунту на різних глибинах) по кожній багатовимірній шкалі та побачити міру прояву вимірювання окремого вихідного об'єкта. Чим більша факторна вага певного об'єкта (за модулем), тим більше в ньому виявляється той бік явища чи закономірність, яку віддзеркалює цей чинник. Багатовимірні вісь MDS1 відокремлює блок позитивних значень, відповідний шарам ґрунту на глибині 10–30 см від поверхні, та протиставляє їм негативні значення ваг, що відповідають шарам, які розташовані вище і нижче виділеного блоку. MDS2 відображає протилежні явища в будові ґрунту вище і нижче рівня 20 см від поверхні. Перша і друга осі виділяють будову поверхневого шару (0–5 см) як найбільш значиму. Багатовимірні вісь MDS3 маркує умови, що відрізняють твердість ґрунту на рівні 10–35 см від решти товщі ґрунту.

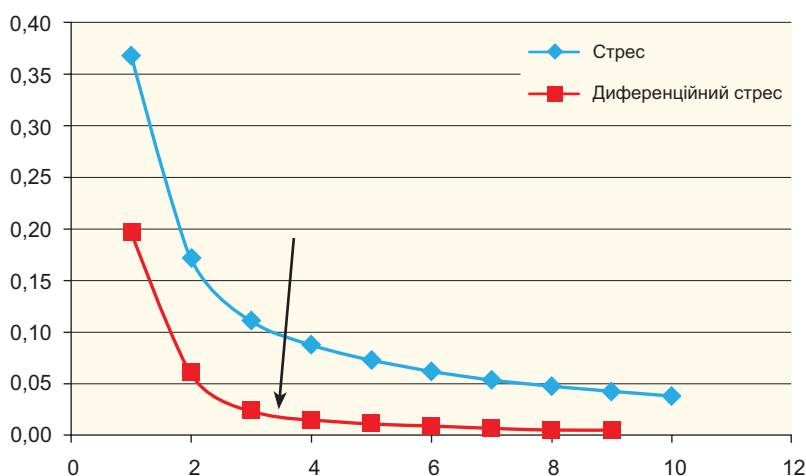


Рис. 1. Залежність величини диференційного стресу від числа вимірів: вісь абсцис – число вимірювань; вісь ординат – стрес і диференційний стрес; стрілкою вказана зона різкого перегину лінії диференційного стресу

Fig. 1. Dependence of stress number upon dimensions screen: x-axis is the number of measurements; vertical axis is stress and differential stress; arrow shows optimal number of dimensions

У табл. 4 відображена частка дисперсії досліджуваної ознаки, яка пояснена фітоіндикаційними шкалами, а також розподіл інформаційної значущості між багатовимірними осями. Частка дисперсії досліджуваної ознаки пояснена фітоіндикаційними шкалами.

Статистично значимі фітоіндикаційні шкали описують від 7 до 49 % варіабельності вимірів багатовимірного простору. Кожен вимір розподіляє досліджувані об'єкти уздовж певного екологічного тренду, який можна інтерпретувати в термінах одного або кількох переважаючих корелятивних ознак. Ці тренди мають складну композитну природу й утворюють певну структуру, яка відображає найважливіші риси, що вивчаються. Така модель дає змогу обчислювати вклади чинників зовнішнього середовища в загальну дисперсію досліджуваної ознаки: чим вища частка вкладу, тим більш значущим, важливим є чинник для визначення сенсу вимірювання.

Таблиця 3. Ординаційна конфігурація на основі зважених середніх ваг значень твердості ґрунту у ґрунтових шарах

Table 3. Weighted averages scores of mechanical impedance value in soil layers for ordination configuration

Твердість ґрунту на глибині, см	Багатовимірні шкали		
	NMDS1	NMDS2	NMDS3
0–5 см	-1,59	1,56	-0,19
5–10 см	-0,97	0,95	-0,09
10–15 см	0,20	0,08	0,30
15–20 см	0,72	-0,18	0,22
20–25 см	1,04	-0,18	0,35
25–30 см	0,35	-0,19	0,51
30–35 см	-0,29	-0,42	0,51
35–40 см	0,13	-0,58	-0,09
40–45 см	-0,14	-0,67	-0,74
45–50 см	-0,03	-0,49	-0,77

Таблиця 4. Оцінка зв'язку з чинниками середовища в координаційному просторі

Table 4. Fitting environmental factors onto an ordination

Фітоіндикаційні шкали	NMDS1	NMDS2	NMDS3	r^2	Pr(>r)	Коди значущості
Фітоіндикаційні шкали						
Hd	-0,81	0,30	-0,50	0,16	0,00	**
ffl	0,75	-0,25	0,62	0,13	0,00	**
Rc	-0,46	-0,34	-0,82	0,02	0,52	
Sl	0,78	-0,43	-0,45	0,34	0,00	***
Ca	-0,45	-0,32	0,84	0,15	0,00	**
Nt	-0,61	-0,14	-0,78	0,16	0,00	***
Ae	-0,75	-0,62	-0,25	0,07	0,05	*
Tm	-1,00	0,01	0,06	0,38	0,00	***
Om	-0,26	0,31	-0,92	0,26	0,00	***
Kn	0,96	0,03	0,29	0,15	0,00	***
Cr	-0,96	0,06	0,26	0,31	0,00	***
Lc	0,24	-0,28	0,93	0,14	0,00	**
Індекси, що ґрунтуються на екоморфах						
Hygr	-0,54	0,82	0,19	0,49	0,00	***
Troph_B	0,11	-0,99	0,12	0,42	0,00	***
St	0,38	-0,79	-0,49	0,29	0,00	***
Pr	-0,38	0,77	0,51	0,29	0,00	***
Hel	-0,26	0,54	0,80	0,13	0,00	**

Примітки: коди значущості: '***' – <0,001; '**' – <0,01; '*' – <0,05

Comments: significance codes: '***' – <0.001; '**' – <0.01; '*' – <0.05

Для формування першої координаційної осі значення має температурний режим ґрунту. Також високі значення у формуванні NMDS1 мають шкали кріорежиму та континентальності клімату. Континентальність клімату не може змінюватися на відстанях, що характеризують дослідний майданчик, тому ми вважаємо, що ця шкала у даному випадку віддзеркалює зміни інших чинників, сутність яких ще треба з'ясувати. NMDS2 описує розподіл у рослинному співтоваристві вивченої ділянки різних гідроморф і трофоморф з індексами протилежних знаків. Найбільша частка поясненої дисперсії багатовимірної осі NMDS3 належить фітоіндикаційним шкалам освітлення й омброрежиму.

Дані, представлені в табл. 4, дають загальне уявлення про взаємодію досліджуваної властивості ґрунту й зовнішніх чинників, що її формують, як про лінійну систему. Вектори екологічних чинників і їхні ізолінії у просторі осей багатовимірного шкалювання дають змогу порівняти масштабність ефектів впливу екологічних чинників на розподіл досліджуваної ґрунтової властивості (рис. 2).

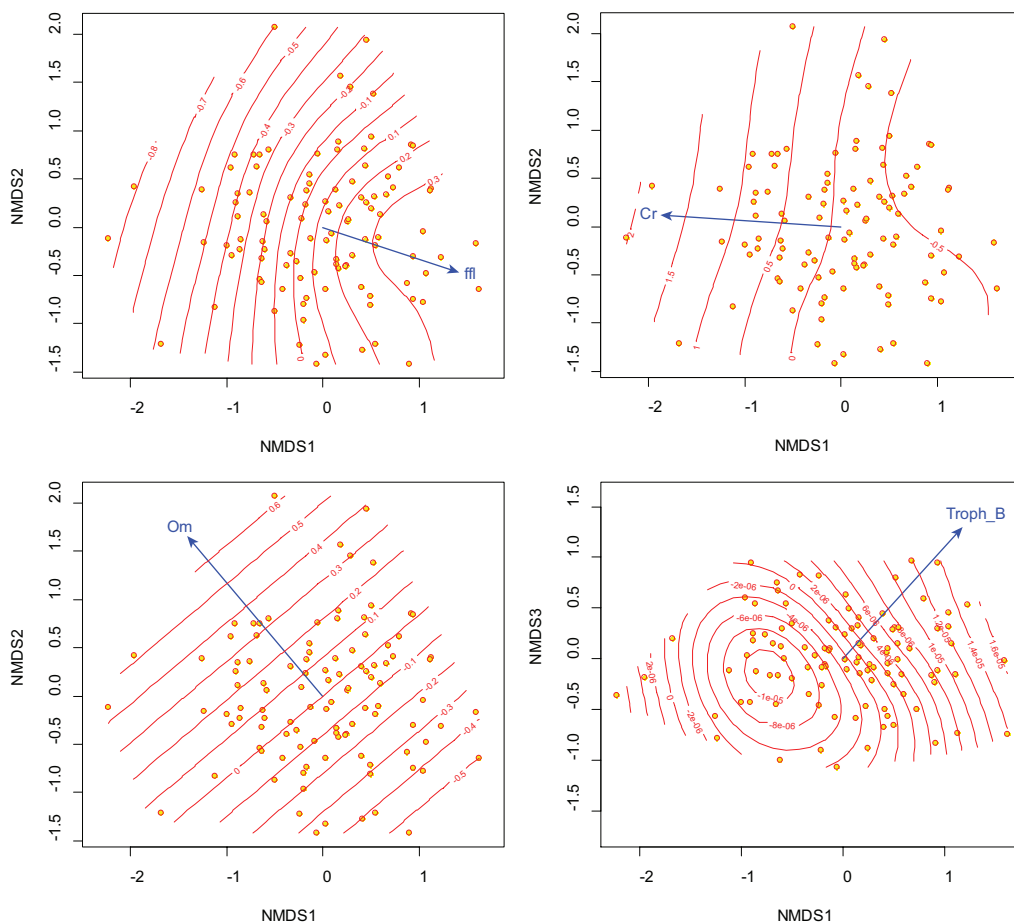


Рис. 2. Згладжуюча поверхня для деяких екологічних чинників у координаційній діаграмі

Fig. 2. Smoothing surface for some ecological factors within ordination diagram

Для визначення наявності просторової структури ґрунтової будови і виділення процесів, що лежать у їхній основі, застосована техніка просторового аналізу даних – метод головних координат матриці сусідства (PCNM – *principal coordinates of neighbor matrices*). Вона заснована на побудові модифікованої усіченої матриці відстаней між точками відбору проб, аналізу її головних координат [5] і відбору PCNM-змінних, які найкращим чином описують досліджувані властивості об'єкта дослідження [5, 11].

У процесі PCNM-аналізу було виділено 55 PCNM-змінних, які відповідають позитивним індексам Морана. За допомогою прямого вибору (*forward selection*) були встановлені 7 найбільш інформативних із них, які описують $R^2_a = 59,94$ % варіабельності шкал ($F = 6,87$, $p = 0,001$). Фракціонування варіації дало змогу встановити, що чинники середовища і просторові чинники описують 73 % варіабельності твердості ґрунту (рис. 3). Із них унікальна середовищна компонента описує 56 % варіабельності, унікальна просторова компонента – 7 %, просторово скорельовані чинники середовища – 10 %.

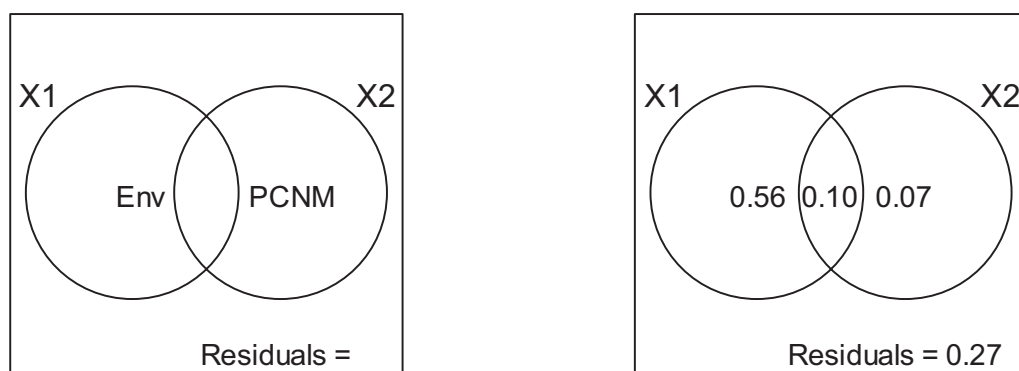


Рис. 3. Фракціонування варіації даних твердості ґрунту після багатовимірного шкалювання за допомогою часткового аналізу надмірності. Представлені чиста середова [Env], чиста просторова [PCNM] і загальна фракція [перетин Env і PCNM]. ** $P < 0,01$

Fig. 3. Variation partitioning of soil impedance data after multidimensional scaling by partial redundancy analysis (pRDA). Pure environmental [Env], pure spatial [PCNM] and shared fractions [intersection of Env and PCNM] are provided. ** $P < 0.01$

Просторові змінні були розділені на широкомасштабну (змінні 4, 5, 11 і 13) та детальномасштабну (18, 24 і 49) компоненти. Для кожної підмножини PCNM-змінних виділені канонічні осі, їхня просторова мінливість представлена на рис. 4.

Для з'ясування характеру зв'язку канонічних осей, що відображають патерни просторової мінливості твердості ґрунту на різних просторових рівнях, з чинниками середовища, було проведено регресійний аналіз (табл. 5). Для широкомасштабної компоненти 78 % варіабельності канонічних осей може бути описано за допомогою регресійного аналізу. Значними регресійними коефіцієнтами характеризуються шкали Ca, Nt, Tm, Om, Cr, Lc, Hygr (позитивні коефіцієнти) та Kp і SI (негативні коефіцієнти). Значними регресійними коефіцієнтами для детальномасштабної компоненти мінливості характеризуються шкали Ae, Troph_B, Hel (позитивні коефіцієнти) та Om і Hygr (негативні коефіцієнти).

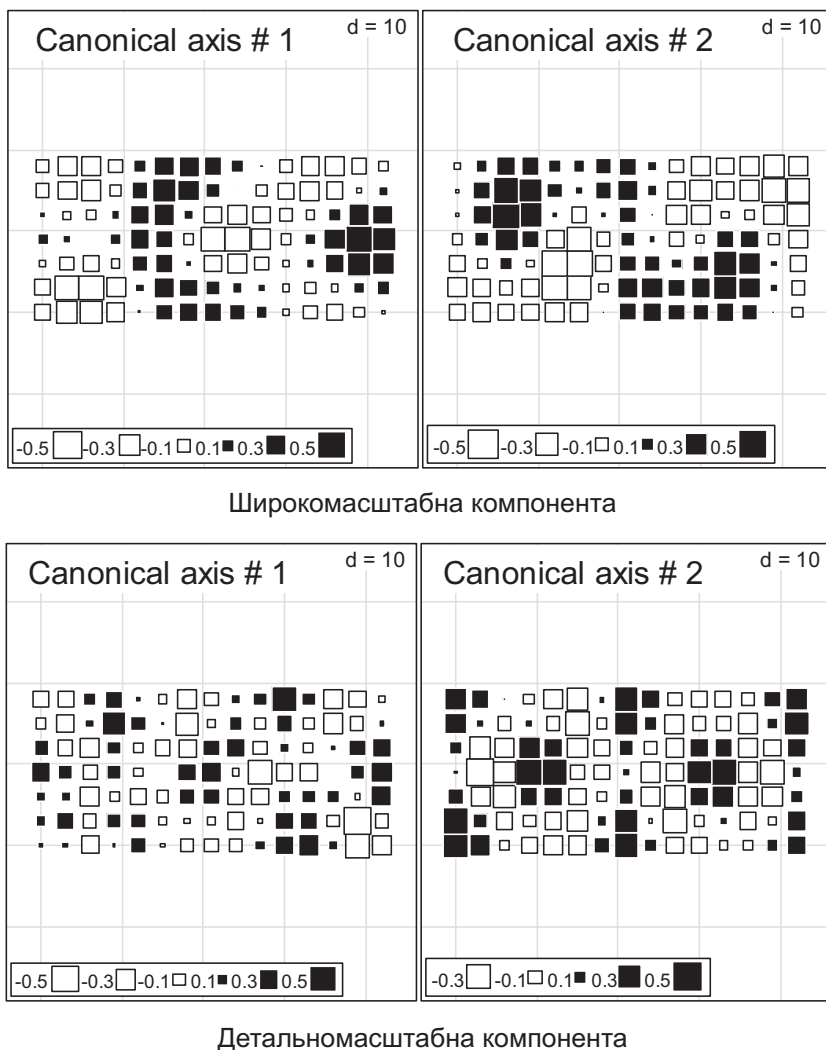


Рис. 4. Просторове розміщення канонічних осей, отриманих у результаті аналізу надмірності просторових складових різного масштабу

Fig. 4. Spatial variation of the canonical axes obtained by the redundancy analysis of various scale spatial components

У результаті наших досліджень встановлено наявність закономірної будови дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині і її зв'язок з екологічними чинниками. Для цих цілей був проведений екоморфічний аналіз рослинності [2]. Його суть полягає у визначенні екологічних режимів екотопу на основі реакції видів рослин. Зміна наявності й кількості видів використовується як інтегрована оцінка реакції впливу прямодіючих чинників середовища [28, 39, 56, 57]. Такий підхід ґрунтується на тому, що характеристика екотопу представлена набором екологічних режимів за основними чинниками середовища (водозабезпеченості, кислотності, трофності, освітленості, температурного режиму і т.д.). Визначення безпосередніми

вимірюваннями відповідних показників – це дуже трудомістка робота, що потребує значного числа вимірювань і перевірки ступеня динамічності параметрів. Метод фітоіндикації дає змогу уникнути цих труднощів. Правомірність застосування таких шкал для характеристики екологічних режимів доведена великою кількістю робіт [10, 12, 42, 56, 57]. У них показано, що має місце кореляція між безпосереднім виміром чинника та його баловою оцінкою за екологічними шкалами. Більш того, встановлено, що фітоіндикаційні шкали щодо ґрунтових властивостей мають більшу індикативність, ніж пряме вимірювання параметрів навколишнього середовища [60]. У нашому дослідженні вони слугують зв'язуючою ланкою між структурою рослинності та твердістю ґрунту.

Таблиця 5. Регресійний аналіз просторової субмоделі змінних середовища

Table 5. Regression of the spatial submodel on the environmental variables

Фітоіндикаційні шкали	Великомасштабна компонента $R^2_a = 0,783$				Детальномасштабна компонента $R^2_a = 549$			
	β	SE	t значення	p -рівень	β	SE	t значення	p -рівень
Hd	0,00	0,04	0,06	0,95	0,01	0,07	0,15	0,89
ffl	0,04	0,04	0,90	0,37	0,06	0,06	0,92	0,36
Rc	0,03	0,05	0,60	0,55	-0,03	0,08	-0,46	0,65
Sl	-0,13	0,04	-3,18	0,00*	0,07	0,06	1,13	0,26
Ca	0,23	0,04	5,53	0,00*	0,04	0,06	0,68	0,50
Nt	0,13	0,05	2,52	0,01*	0,04	0,08	0,51	0,61
Ae	-0,01	0,04	-0,32	0,75	0,15	0,06	2,49	0,01*
Tm	0,19	0,05	3,80	0,00*	0,02	0,08	0,28	0,78
Om	0,16	0,04	3,62	0,00*	-0,18	0,07	-2,57	0,01*
Kn	-0,16	0,05	-3,15	0,00*	0,11	0,08	1,34	0,18
Cr	0,10	0,05	2,25	0,03*	0,09	0,07	1,28	0,20
Lc	0,23	0,04	6,11	0,00*	-0,11	0,06	-1,87	0,07
Hygr	0,21	0,06	3,80	0,00*	-0,25	0,08	-3,00	0,00*
Troph_B	0,04	0,04	0,99	0,32	0,39	0,06	6,09	0,00*
St	-0,45	0,83	-0,54	0,59	2,29	1,27	1,80	0,07
Pr	-0,59	0,84	-0,70	0,48	2,19	1,28	1,71	0,09
Hel	0,08	0,05	1,66	0,10	0,22	0,08	2,96	0,00*

Примітки: β – стандартизований регресійний коефіцієнт, SE – стандартна помилка β . ** – позначені статистично значимі кореляції ($p < 0,05$)

Comments: β – standardized regression coefficient, SE – standard error β . ** – marked statistically significant correlation ($p < 0.05$)

Дані твердості ґрунту були піддані процедурі багатовимірного шкалювання. Багато експертів визнають, що цей метод дає найбільш адекватні результати, особливо у великих блоках матеріалу зі сильними шумами (випадковими відхиленнями) [31, 38, 46, 51, 34]. Суть його полягає у зниженні розмірності простору для відображення вихідного багатовимірного масиву даних. Для цього може бути обрана відповідна

міра, яка визначає відстань між розглянутими об'єктами. Алгоритм моделює розміщення точок у певному n -вимірному просторі таким чином, щоб відстані між точками в n -вимірному просторі були якомога ближче до відстаней, що визначені для m -вимірного простору, де m – число досліджуваних об'єктів. При цьому n – число координатних осей, або шкал, – свідомо невелике, тобто $m > n$. У результаті кількість інформаційно-важливих вимірів стає меншою, а шкали набувають композиційних властивостей.

У нашому випадку інформаційна цінність для діагностики чинників зовнішнього середовища переходить від даних твердості ґрунту як самостійних джерел інформації до осей екологічного простору. У процесі багатовимірного шкалювання ці осі відображаються вимірами. Процедура передбачає обчислення рангової кореляції матриць дистанцій між сайтами вимірювання твердості й матриць дистанцій, встановленими на основі чинників навколишнього середовища. Як чинники навколишнього середовища в нашому дослідженні слугують оцінки едафотопу і кліматопу, виражені через фітоіндикаційні шкали.

У результаті показані закономірності в розподілі показників твердості ґрунту. Одним із характерних варіантів будови профілю є випадок, коли твердість ґрунту на рівні 10–30 см від поверхні відрізняється від твердості вище і нижче розташованих шарів. Формування таких умов пов'язане з температурним режимом ґрунтів і явищами промерзання ґрунту. Ще однією закономірністю в будові ґрунту є випадок, коли спостерігаються протилежні явища у будові ґрунту вище і нижче рівня 20 см від поверхні. У цьому разі представленість у рослинному співтоваристві вивченої ділянки різних гідроморф і трофоморф має протилежний характер. Контрастність за ознакою твердості ґрунту на рівні 10–35 см з рештою ґрунтової товщі маркується такими кліматичними умовами як освітлення й омброрежим. Клімат не змінюється на характерних для цієї експериментальної ділянки відстанях і має не диференціюючий, а нівелюючий вплив на ґрунт. Він, однак, у числі інших чинників задає набір можливих на цій території складових ґрунту, впливаючи як прямо, так і опосередковано через інші чинники. Кореляції кліматичних шкал можуть бути результатом узгоджених трендів рослинного співтовариства, ініційованих едафічною компонентою [59].

Залежність отриманих даних від впливу вивчених екологічних чинників неоднакова. Зображення векторів екологічних чинників і їхніх ізоліній у просторі осей багатовимірного шкалювання дає змогу порівняти розмірність ефектів. Такий чинник як омброрежим для ґрунту вивченої ділянки впливає на формування неоднорідності великого масштабу. Водночас змінність зволоження, кріорежим і, особливо, трофність ґрунту впливають на формування закономірностей будови з довжиною хвилі меншою, ніж розміри експериментального полігону. Йдеться про елементарні складові загального процесу зміни дослідженої властивості. Різна масштабність ефектів екологічних чинників відзначена і в інших роботах [5, 6, 11, 20].

Як встановлено, чинники навколишнього середовища (в тому числі й едафічні характеристики, які є для властивості твердості зовнішніми) впливають на просторову варіацію твердості ґрунту. Однак варіація, яка повністю віднесена тільки до змінних, що залежні від середовища, може випадково відображати патерни, які справді виникають унаслідок нейтральних процесів [1, 33]. Просторова автокореляція не може бути пояснена чинниками середовища і належить до результату дії

нейтральних механізмів [21, 17, 48]. Фракціонування варіації [6, 21] дало змогу розділити всю сукупність предикторів на індивідуальні та комбіновані компоненти, з'ясувати ступінь їхньої кореляції з мінливістю твердості ґрунту. Мінливість, обумовлена зовнішніми предикторами, містить як індивідуальні, так і комбіновані компоненти, які в сукупності описують 66 % варіації. Варіабельність ознаки, яка обумовлена внутрішніми закономірностями ґрунтової будови нейтрального характеру, взаємодіючи з чинниками навколишнього середовища, пояснює 17 % неоднорідності. Регресійний аналіз зв'язку канонічних осей, що відображає патерни просторової мінливості твердості ґрунту з чинниками середовища, визначив ролі предикторів для механізмів формування ґрунтової будови на різних масштабних рівнях. Найбільш значимими чинниками зовнішнього середовища для формування широкомасштабної варіації просторової мінливості твердості є вміст карбонатних солей, засвоєваних форм азоту, термо- й омброрежим, сольовий режим і континентальність клімату. Компоненти просторової мінливості твердості з великим періодом коливання пов'язані з розподілом рослинних гігоморф. Просторова мінливість детальномасштабної компоненти залежить від аерації ґрунту й омброрежиму. Високочастотні періодичні коливання твердості мають зв'язок зі структурою розподілу трофоморф, гігоморф і геліоморф.

У нашому дослідженні для аналізу будови ґрунту було використано алгоритм, який застосовують для аналізу структури угруповань живих організмів [60]. Результати дослідження дають змогу говорити про наявність адаптивних процесів у ґрунті і правомірності застосування подібних методик щодо цього об'єкта дослідження. Ґрунт як компонент біогеоценозу проявляє морфологічну і функціональну відповідність іншим його складовим. Процеси набуття ґрунтом закономірної будови детерміновані зовнішніми і внутрішніми причинами, що описують своєрідну "екологічну нішу" для елементів ґрунтової будови [60]. Варіювання властивостей середовища частково пояснює спостережувані просторові патерни. Однак є елементи організації, виникнення яких обумовлене внутрішньою узгодженістю ґрунтового тіла. Взаємодія внутрішньої динаміки властивості з динамікою, що зумовлена кліматичними, едафічними і біологічними причинами, підвищує рівень організованості у явищах ґрунтової будови.

ВИСНОВОК

Під час превентивного перетворення первинних даних і вибору міри зв'язку між об'єктами встановлено, що найбільшою кореляцією з чинниками середовища характеризується матриця на основі метрики Горна–Морисита з даними, попередньо підданими логарифмуванню. Оскільки збільшення числа вимірювань вище трьох не забезпечує істотного приросту точності відображення, застосовано тривимірний варіант багатовимірного шкалювання. У результаті встановлено, що багатовимірна вісь NMDS1 маркує умови, які відрізняють твердість ґрунту в шарах 10–30 см від тих, що розташовані вище і нижче від виділеного блоку. NMDS2 виділяє протилежні явища в будові ґрунту вище і нижче рівня 20 см. Шкала NMDS3 відображає контрастність за ознакою твердості ґрунту на рівні 10–35 см від решти ґрунтової товщі. Статистично значимі фітоіндикаційні шкали описують від 7 до 49 % варіабельності багатовимірних вимірів. Для формування першої координатної осі значення має температурний режим ґрунту і кріорежим. Шкала NMDS2

описує представленість у рослинному співтоваристві вивченої ділянки різних гідоморф і трофоморф. Найбільша частка поясненої дисперсії багатовимірної осі NMDS3 належить фітоіндикаційним шкалам освітлення й омброрежиму.

Під час фракціонування варіації твердості ґрунту вивченої ділянки встановлено, що чинники зовнішнього середовища визначають 56 % загальної варіабельності отриманих даних. PCNM-змінні описують 7 % варіювання показників твердості ґрунту, а взаємодія просторових патернів з чинниками зовнішнього середовища – 10 % мінливості ознаки. У цьому разі для опису широкомасштабної просторової компоненти варіювання твердості ґрунту найбільш значимими чинниками зовнішнього середовища є вміст карбонатних солей, засвоюваних форм азоту, термо-й омброрежим, сольовий режим і континентальність клімату. Компоненти просторової мінливості твердості з великим періодом колювання пов'язані з розподілом рослинних гігоморф. Просторова мінливість детальномасштабної компоненти залежить від аерації ґрунту й омброрежиму та пов'язана зі структурою розподілу трофоморф, гігоморф і геліоморф.

1. Anderson M.J. Navigating the multiple meanings of β diversity: a roadmap for the practicing ecologist. **Ecology Letters**, 2011; 14: 19–28.
2. Belgard A.L. **Forest vegetation of the south east of the Ukraine**. Kiev: KSU, 1950. 263 p. (In Russian).
3. Bobrovskij M.V. The role of the environment transforming activity of the soil fauna key species to form soil structure. In: **Methodical approaches for ecological assessment of the forest cover in the small river basin**. Moscow: Tovarihshestvo nauchnyh izdanij KMK, 2010. P. 40–48. (In Russian).
4. Bondar G.A., Zhukov, A.V. Plant cover ecological structure formed as a results of self-growing of the sod-lithogenic soils on loess-like clays. **Visnyk of the Dnipropetrovsk State Agrarian University**, 2011; 1: 54–62. (In Russian).
5. Borcard D., Legendre P., Avois-Jacquet C., Tuosimoto H. Dissecting the spatial structure of ecological data at multi-ple scales. **Ecology**, 2004; 85: 1826–1832.
6. Borcard D., Legendre P. Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using oribatid mites (Acari, Oribatei). **Environmental and Ecological Statistics**, 1994; 1: 37–61.
7. Cecilia M., Jesus H. C., Cortes C.A. Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. **Eng. Agric. Jaboticabal**, 2012; 32(1): 91–101.
8. Clemens J., Schillinger M.P., Golodbach H., Huwe B. Spatial variability of N_2O emissions and soil parametrs of sn arable silt loam – a field study. **Biol. Fert. Soils**, 1999; 28(4): 403–406.
9. Demidov A.A., Kobets A.S., Gritsan Y.I., Zhukov A.V. **Spatial ecology and land reclamation**. Dnepropetrovsk: Publishing House “Svidler AL”, 2013. 560 p. (In Russian).
10. Diduh Ya.P., Plyuta P.G. Comparative characteristic of the phytoindicator scales (termoregime and edaphic scales as examples) **Russ. J. Ecol.**, 1994; 2: 34–43. (In Russian).
11. Dray S., Legendre P., Peres-Neto P. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). **Ecol. Model**, 2006; 196: 483–493.
12. Ertsen A.C.D., Alkemade J.R.M., Wassen M.J. Calibrating Ellenberg indicator values for moisture, acidity, nutrient availability and salinity in the Netherlands. **Plant Ecol**, 1998; 135: 113–124.
13. Yeterevska L.V., Momot G.F., Lehtsier L.V. Reclaimed soils: approaches to classification and taxonomy. **Gruntoznavstvo**, 2008; 9(3): 147–150. (In Ukrainian).
14. Goncalves A. C.A., Folegatti M. V., Silva A.P. Estabilidade temporal da especial da umidade do solo em area irrigate por vivo central. **Rev. Brasil. Cienc. Solo**, 1999; 23(1): 155–164.

15. Grunwald S., McSweeney K., Rooney D.J., Lowery B. Soil layer models created with profile cone pen-etrometer data. **Geoderma**, 2001; 110(1–2): 181–201.
16. Hamza, M.A., Anderson W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Till. Res.**, 2005; 82(2): 121–145.
17. Hu Y.-H., Sheng D.Y., Xiang Y.Z. et al. The environment, not space, dominantly structures the landscape patterns of the richness and composition of the tropical understory vegetation. **PLoS ONE**, 2013; 8(11): 1.
18. Jiménez Juan J., Decaëns T., Lavelle P., Rossi J. Dissecting the multi-scale spatial relationship of earthworm assemblages with soil environmental variability. **BMC Ecology**, 2014; 14: 26–45.
19. Karpachevskij L.O., Zubkova T.A., Tashninova L.N., Rudenko R.N. Soil cover and forest biogeocenosis parcelar structure. **Russian Forest Sciences**, 2007; 6: 107–113. (In Russian).
20. Legendre P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? **Ecology**, 1993; 74(6): 1659–1673.
21. Legendre P., Mi X., Ren H. et al. Partitioning beta diversity in a subtropical broadleaved forest of China. **Ecology**, 2009; 90: 663–674.
22. Legendre P., Gallagher E.D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, 2001; 129: 271–280.
23. Lukina N.V., Nikonov V.V. **Biogeochemical cycles in North forest in aerotechnogenic contamination**: in two parts. Izd-vo Kol'skogo NC RAN, Apatity, 1996. Pt. 1–213 p., Pt. 2–192 p. (In Russian).
24. Lukina N.V., Nikonov V.V. **Nutrient regime of the north taiga forests: natural and technogenic aspects**. Izdatel'stvo Kol'skogo NC RAN, Apatity, 1998. 316 p. (In Russian).
25. Lukina N.V., Gorbacheva T.T., Nikonov V.V., Lukina M.A. Spatial variability of the Al-Fe-podzol acidity. **Eurasian Soil Sci+**, 2002; 2: 163–176. (In Russian).
26. Lukina N.V., Nikonov V.V., Isaeva L.G. Acidity and nutrient regime of the spruce forest soils In: **Indigenous spruce forests: biodiversity, structure, function**. Moscow: Nauka, 2006; P. 215–253. (In Russian).
27. Masjuk N.T., Bekarevich N.E. Rational use of bulk soil remediation at sites in the chernozem zone. In: **The development of disturbed lands**. Moscow: Nauka, 1976. P. 112–150. (In Russian).
28. Matveev N.M. The system of the A.L. Belgard ecomorphes optimization for the sake of the ecotope and biotope phytoindication. **Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ecol**, 2003; 11(2): 105–113. (In Russian).
29. Medvedev V.V. **The hardness of the soil**. Kharkov: Publishing House of the KP "Urban Typography", 2009. 152 p. (In Russian).
30. Medvedev V.V., Mel'nik A.I. Heterogeneity of Soil Agrochemical Properties in the Space and the Time. **Agricultural Chemistry**, 2010; 1: 20–26. (In Russian).
31. Minchin P.R. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. **Vegetatio**, 1987; 67: 1167–1179.
32. Moiseev K.G. Sod-podzol sands soils density calculation on the basis of the soil penetration resistance diagrams. **Eurasian Soil Sci+**, 2013; 10: 1228–1233. (In Russian).
33. Murphy S.J., Audino L.D., Whitacre J. et al. Species associations structured by environment and land-use history promote beta-diversity in a temperate forest. **Ecology**, 2015; 96(3): 705–715.
34. Novakovskij A.B. Ordination methods in the modern geobotanics (in Russian). **Bulletin of the Biology Institute. Komy SC UrD RAS**, 2008; 132 (10): 2–8. (In Russian)
35. Orlova M.A., Lukina N.V. & Nikonov V.V. Spruce influence on the spatial variability north taiga forests soils acidity. **Russian Forest Sciences**, 2003; 6: 3–11. (In Russian).
36. Oksanen J., Blanchet F.G., Kindt R. et al. **Community Ecology Package**. R package version 2.0-2. // 2011. – <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

37. Parackova A., Zaujec A. Evaluation of human impacts on soils on the Borska lowland. **Eko-logia Bratislava**, 2001; 20 (3): 299–304.
38. Prentice I.C. Non-metric ordination methods in ecology. **Journal of Ecology**, 1977; 65: 85–94.
39. Ramenskij L.G., Cacengin I.A., Chizhikov O.N., Antipov N.A. **Grasslands ecological as-sessment on the basis of the plant cover**. Moscow: Selhozgiz, 1956. 472 p. (In Russian).
40. Ramires-Lopez L., Reina-Sanchez A., Camacho-Tamayo J.H. Variabilidad espacial de atributos fisicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colombia. **Eng. Agric., Jabo-ticabal**, 2008; 28(1): 55–63.
41. Samsonova V.P. **Spatial variability of the soil properties: sod-podzol soils as example**. Moscow: LKI, 2008. 160 p. (In Russian).
42. Schaffers A.P., Sykora K.V. Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements. **J. Veg. Sci**, 2000; 11: 225–244.
43. Selles F., Campbell C.A., McConkey B.G. et al. Relationships between biological and chemi-cal measures of N supplying power and total N at field scale. **Canad. J. Soil Sci**, 1999; 79: 353–366.
44. Serafim M.E., Vitorino A.C.T., Peixoto P.P.P. et al. Intervalo hidrico otimo em um latossolo vermelho distroferico sob diferentes sistemas de producao. **Eng. Agric., Jaboticabal**, 2008; 28(4): 654–665.
45. Shein E.B. Spatial heterogeneity of the properties on the different hierarchical levels is a ba-sis of the soils structure and functions. In: **Scales effects following soils invesigation**. Moscow: MGU, 2001; P. 47–61. (In Russian).
46. Shitikov V. K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. Quantitative hydroecology: system identifica-tion methods. IJeVB RAN, Toljatti, 2003. 463 p. (In Russian).
47. Shtirts A. D., Zadorozhnaya G.A., Kunakh O.N., Zhukov A.V. Spatial organization of oribatid mites community (Acari: Oribatida) in soil of an agricultural field in conditions of steppe zone of Ukraine. **The Kharkov Entomol. Soc. Gaz**, 2013; 21(1): 49–60. (In Russian).
48. Siefert A., Ravenscroft C., Weiser M.D., Swenson N.G. Functional beta-diversity patterns reveal deterministic community assembly processes in eastern North American trees. **Global Ecology and Biogeography**, 2013; 6: 682–691.
49. Soracco C.G., Lozano L.A., Sarli G.O. et al. Anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a soil under conservation and no-till treatments. **Soil Till. Res**, 2010; 109: 18–22.
50. Tarasov V.V. **Flora of the Dnipropetrovsk and Zaporizhia regions**. Dnipropetrovsk: Lira, 2012. 296 p. (in Ukrainian).
51. Tolstova Ju.N. **Multidimensional scales basis**. Moscow: KDU, 2006. 160. (In Russian).
52. Tryfanova M., Zadorojhna G., Zhukova J. Gray heron colony impact on soil cellulolytic acti-vity. **Visnyk of Lviv University. Ser. Biol**, 2014; 65: 245–254. (In Ukrainian)
53. Voron Ye.A. Properties of soil created by means of layerwise mine-technical and biological re-cultivation. **Scientific Bulletin of National Mining University**, 2010; 5: 23–28. (in Russian).
54. Wright S.A. **Axis and Circumference**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988. 367 p.
55. Zadorozhna G.O. The spatial organization of soddy lithogenic soils on the grey-grin clays. **Biological Bulletin of Bogdan Bohdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical Uni-versity**, 2012; 2(1): 48–57. DOI: http://dx.doi.org/10.15421/20133_03. (In Ukrainian).
56. Zagul'nova L.B., Lukina N.V., Tihonova E.V. Spatial structure of the biogeocoenotic forest cover. In: **Methodical approaches for ecological assessment of the forest cover in the small river basin**. Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK, Moscow, 2010; 10–19. (In Russian).
57. Zagul'nova L.B., Tihonova E.V. Phytoindication of the ecological regimes in small basin. In: **Methodical approaches for ecological assessment of the forest cover in the small river basin**. Moscow: Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK, 2010. P. 156–158. (In Russian).
58. Zhukov O.V., Zadorozhna G.O. Ecomorphic organisation of the soil body: geostatistical ap-proach. **Studia Biologica**, 2015; 9(3–4): 119–128. (In Ukrainian).

59. Zhukov A.V. Influence of usual and dual wheels on soil penetration resistance: the GIS-apoach. **Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University**, 2015; 5(3): 73–100. DOI: 10.15421/2015029. (In Russian).
60. Zhukov A.V., Kunakh O.N., Novikova V.A. The ecomorphic organization of mesopedobionts community of oak forest with the fresh grass on arena of the Dnieper river. **The Kharkov Entomol. Soc. Gaz**, 2015; 23(2): 39–53. (In Russian).

STRUCTURE OF THE SOD-LITHOGENIC SOIL ON RED-CLAY BURIH CLAYS: THE ENVIRONMENTAL ASPECT

G. O. Zadorozhna

*Oles Honchar National University of Dnipropetrovsk, 72, Gagarin Ave., Dnipro 49010, Ukraine
e-mail: zadorojhnayagalina@gmail.com*

The dynamics of spatial heterogeneity of the sod-lithogenic soil on red-clay burih clays has been studied in the environmental aspect in terms of hardness. The ecomorphic analysis of vegetation of the section was carried ont. The ordination of data of soil hardness has been realized by the non-metric multidimensional scaling. The three-dimensional variant of multidimensional scaling was applied. The relationship of varying the hardness of the soil and environmental factors has been determined using phytoindicative scales. Using the technique of spatial data analysis (PCNM) the elements of spatial autocorrelation data of soil hardness and defined processes underlying its formation have been highlighted. It was established that statistically significant phytoindicative scales describe from 7 to 49% of the variability of the multidimensional measurements. Temperature value of soil and cryoregime have a value for the formation of the first coordinate axis. The axis marks the conditions distinguishing soil hardness in layers of 10–35 cm from those located above and below of the selected block. The second coordination axis reflects the opposite phenomenon in soil structure above and below the level of 20 cm and describes the representation of gigromorphes in plant community. The highest values in the formation of the third coordination axis have light scales and ombroregime. Measurement selects the contrast on the basis of hardness at the level 10–35 cm from the surrounding soil layers. During fractionation of variations hardness of the studied soil site it was established that environmental factors determine 56 % of the total variability of the results. PCNM-variables describe 7 % of the variation of indicators of soil hardness and spatial patterns deterministic environment – 10 % of feature variability. Herewith the most important environmental factors for describing of large-scale spatial component of variation of soil hardness are the content of carbonate salts, digestible forms of nitrogen, thermo- and ombroregime, salt regime and continentality climate. The components of the spatial variability of the hardness of a long-period fluctuations are associated with the distribution of plant gigromorphes. Spatial variability of detailed scale components is dependent on soil aeration and ombroregime. High-frequency periodic oscillations of hardness are related to such factors as aeration of the soil, ombroclimate and also distribution structure of trophomorphes, gigromorphes and heliomorphes.

Keywords: soil hardness, phytoindicate, multidimensional scaling.

СТРОЕНИЕ ДЕРНОВО-ЛИТОГЕННОЙ ПОЧВЫ НА КРАСНО-БУРОЙ ГЛИНЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

Г. А. Задорожная

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара
просп. Гагарина, 72, Днепр 49000, Украина
e-mail: zadorojhnayagalina@gmail.com*

Исследована динамика пространственной неоднородности дерново-литогенной почвы на красно-бурой 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. Установлено, что статистически значимые фитоиндикационные шкалы описывают от 7 до 49 % вариабельности многомерных измерений. Для формирования первой ординационной оси значение имеет температурный режим почвы и криорежим. Ось маркирует условия, отличающие твердость почвы в слоях 10–35 см от тех, которые расположены выше и ниже выделенного блока. Вторая ординационная ось отражает противоположные явления в строении почвы выше и ниже уровня 20 см и описывает представленность в растительном сообществе гигроморф. Наиболее высокое значение в формировании третьей ординационной оси имеют шкалы освещения и омброрежима. Измерение выделяет контрастность по признаку твердости на уровне 10–35 см от окружающих почвенных слоев. При фракционировании вариации твердости почвы изученного участка установлено, что факторы внешней среды определяют 56 % общей вариабельности полученных данных. PCNM-переменные описывают 7 % варьирования показателей твердости почвы, а пространственные паттерны, детерминированные внешней средой, – 10 % изменчивости признака. При этом для описания широкомасштабной пространственной компоненты варьирования твердости почвы наиболее значимыми факторами внешней среды являются содержание карбонатных солей, усваиваемых форм азота, термо- и омброрежим, солевой режим и континентальность климата. Компоненты пространственной изменчивости твердости с большим периодом колебания связаны с распределением растительных гигроморф. Пространственная изменчивость детальномасштабной компоненты зависит от аэрации почвы и омброрежима. Высокочастотные периодические колебания твердости имеют связь с такими факторами как аэрация почвы, омброклимат, а также со структурой распределения трофоморф, гигроморф и гелиоморф.

Ключевые слова: твердость почвы, фитоиндикация, многомерное шкалирование.

Одержано: 14.04.2016