



УДК 631.4

## ЕКОМОРФІЧНА ОРГАНІЗАЦІЯ ҐРУНТОВОГО ТІЛА: ГЕОСТАТИСТИЧНИЙ ПІДХІД

**О. В. Жуков, Г. О. Задорожна**

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара  
просп. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ 49010, Україна  
e-mail: zadorojhnaya\_galina@list.ru*

Досліджена динаміка просторової неоднорідності твердості дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурих глинах ділянки рекультивації Нікопольського марганцеворудного басейну протягом двох років за показниками твердості. Встановлено статистичні закономірності формування будови ґрунту. Методами геостатистики визначено рівні просторової залежності показників твердості по шарах на глибину 50 см. На основі пошарового картографування просторового розподілу твердості в будові ґрунту дослідженої ділянки виявлені позагоризонтні морфологічні утворення з горизонтальними лінійними розмірами 3,34–4,50 м у 2012 р. та 7,14–8,02 м у 2013 р. Результати кореляційного аналізу свідчать про те, що формування будови елементів неоднорідності дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині відбувається під стійким впливом негативних зворотних зв'язків з розподілом показників твердості цього ґрунту, виявленим у попередній рік. Виявлені елементи просторової організації дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині мають власні розміри, форму, характер взаємозв'язку, можна називати елементами неоднорідності ґрунту і є природними елементами організації ґрунту як природного тіла. Структурна цілісність, індивідуальність, залежність від екологічних умов дає підставу залучити виявлені едафічні структурні елементи до розряду ґрунтових екоморф.

**Ключові слова:** твердість ґрунту, просторова неоднорідність, будова ґрунту, морфологічні елементи.

### ВСТУП

Цілі та переваги ієрархічного підходу під час вивчення морфологічної організації ґрунтового тіла детально розроблені у класичних роботах Е. А. Корнблума [8, 16]. Класифікація рівнів організації та їх морфологічних елементів розроблена А.Д. Вороніним і Б. Г. Розановим [1, 11, 12]. Однак сучасні дослідники відзначають наявність “прогалин” в ієрархічній системі морфологічних елементів ґрунту [4, 16]. Визначилася проблема сполучення вищих і нижчих рівнів організації ґрунту як природного тіла, що, безумовно, позбавляє частки ефективності аналізу відносин морфологічних елементів як основи детальної реконструкції процесів становлення

ґрунтів, вивчення їх режимів і функцій. Є.А. Дмитрієв вважає, що вибір критеріїв проведення меж у ґрунтовому просторі занадто різниться при виділенні елементів організації ґрунту нижчих рівнів і на горизонтальному рівні [4]. На субпрофільних рівнях організації морфологічні елементи ізометричні, в той час як на горизонтальному рівні та на рівні ґрунтово-покривному латеральна протяжність елементів організації на багато порядків вища, ніж по вертикальній осі. Отже, відсутнє в класифікації ґрунтового тіла має бути позагоризонтним елементом організації та охоплювати всю товщу ґрунту [3, 16].

Позначеним вимогам відповідають морфологічні елементи, що були описані нами в результаті проведених досліджень просторової неоднорідності техноземів ділянки рекультивції Нікопольського марганцеворудного басейну. Під час вимірювання твердості пенетрометром і обробці результатів виявлені інтегральні тривимірні фізичні утворення, що мають індивідуальні параметри, притаманні різним ґрунтам незалежно від їх класифікації та відрізняються від описаних раніше ґрунтових морфологічних елементів.

У наших попередніх роботах [14, 17, 19–22] надано опис результатів досліджень просторово-часових змін твердості дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах і дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках. Градієнтний характер меж між виявленими при цьому позагоризонтними морфоструктурами дав можливість зробити висновок про те, що вони є природними елементами організації ґрунту як природного тіла. Структурна цілісність, індивідуальність, неоднорідність у часі дали підставу віднести виявлені нами едафічні структурні елементи до розряду ґрунтових екоморф. Екоморфи ми застосовуємо як утворення, аналогічні за змістом екоморфам рослин за О. Л. Бельградом [1], ґрунтових тварин за О. В. Жуковим [18], герпетобіотних павуків за О. М. Кунах і співавт. [9].

Метою цієї роботи є обґрунтування існування екоморф – позагоризонтних внутрішньоґрунтових морфоструктур дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах ділянки рекультивції Нікопольського марганцеворудного басейну на підставі просторово-часової динаміки їх твердості.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Збір матеріалу проводився 20 червня 2012 і 13 червня 2013 рр. на ділянці рекультивції Нікопольського марганцеворудного басейну в м. Орджонікідзе. Експериментальна ділянка із вивчення оптимальних режимів сільськогосподарської рекультивції була створена 1968–1970 рр. на зовнішньому відвалі Запорізького марганцеворудного кар'єру. На ділянці були створені штучні едафотопи двох типів. Перший – на спланованій суміші розкритих порід з відсипанням на їхню поверхню різних за потужністю шарів чорноземної маси. Другий являв собою сплановані розкриті породи товщиною 2 м, що були винесені з різних глибин. Як об'єкт цього дослідження був обраний дерново-літогенний ґрунт на червоно-бурих глинах. Назву ґрунту наведено за Л. В. Єстеревською [5]. На даний час тип рослинності представлений бобово-злаковою сумішшю та різнотрав'ям.

Дослідний полігон являє собою регулярну сітку, яка 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.

Вимірювання твердості ґрунтів здійснено в польових умовах за допомогою ручного пенетрометра Eijkelkamp на глибину до 50 см з інтервалом 5 см. Основною

робочою частиною твердоміра є плунжер, нагвинчений на нижній кінець штока, який за допомогою рукоятки крізь пружину вштовхується в досліджений ґрунт. У цьому разі пружина, яка вимірює, стискається пропорційно величині опору деформації ґрунту [6]. Середня похибка результатів вимірювань приладу становить  $\pm 8\%$ . Вимірювання твердості ґрунту зроблені конусом поперечного перерізу  $2\text{ см}^2$  в кожному осередку полігону.

Для статистичних розрахунків була використана програма Statistica 7.0, а для оцінки геостатистичних показників, двовимірного і тривимірного картографування – програма Surfer 8.0.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

У табл. 1 представлені дані твердості вивченої ділянки дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині за 2012 і 2013 роки, що оброблені методами описової статистики (табл. 1).

Таблиця 1. Описова статистика твердості ґрунту

Table 1. Soil penetration resistance descriptive statistics

Відстань від поверхні, см	Середнє, МПа	Довірчий інтервал		CV, %	Середнє, МПа	Довірчий інтервал		CV, %
		–95 %	+95 %			–95 %	+95 %	
	2012 р.					2013 р.		
0–5	3,26	2,35	6,02	24,46	2,09	1,16	4,88	28,08
5–10	4,57	3,64	7,32	32,51	3,94	3,01	6,69	32,08
10–15	5,58	4,66	8,31	30,14	4,89	3,96	7,63	30,46
15–20	6,31	5,38	9,03	29,19	5,31	4,38	8,04	31,84
20–25	6,96	6,02	9,68	28,80	5,43	4,49	8,17	35,65
25–30	7,39	6,44	10,10	29,26	5,90	4,97	8,63	31,69
30–35	7,79	6,84	10,51	28,40	6,18	5,24	8,91	32,70
35–40	8,02	7,05	10,74	30,21	6,45	5,51	9,17	31,26
40–45	8,24	7,26	10,97	31,03	6,79	5,86	9,49	27,59
45–50	9,06	7,98	12,06	34,13	7,04	6,12	9,74	27,13

Середні значення твердості дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурих глинах, як і довірчий інтервал, закономірно збільшуються з глибиною, що пояснюється тиском верхніх шарів ґрунту на ті, які лежать нижче. Варіативність досліджуваної ознаки у 2012 р. коливається від 24,46 до 32,51 % з максимумом на глибині 5–10 см від поверхні. Найбільший розкид для даних 2013 р. спостерігається на глибині 20–25 см від поверхні у разі розкиду коефіцієнта варіації в межах від 27,13 до 35,69 %.

Геостатистика пропонує низку механізмів, які враховують просторові закони розподілу отриманих даних, описують просторові моделі та інтерполюють значення для місць, у яких не проводилися вимірювання. Допоміжні дані, такі як нагет-ефект, поріг, радіус впливу доповнюють основні змінні, даючи змогу створювати моделі інтерполяції. Результати геостатистичного аналізу представлені в табл. 2.

Нагет-ефект відображає непросторову компоненту мінливості ознаки і збільшується з глибиною від 0,02 до 2,65 у даних 2012 р. і від 0,60 до 3,50 – у даних

2013 р. Його відношення до показника “поріг” дає змогу оцінити рівень просторової залежності за просторовим відношенням SDL. Якщо просторове відношення перебуває у межах 0–25 %, то мова йде про сильну просторову залежність; якщо просторове відношення перебуває в межах 25–75 %, у такому разі просторова залежність змінної є помірною; якщо просторове відношення перевищує 75 %, то змінна розглядається як слабо просторово залежна [2]. Згідно з результатами наших досліджень, високу просторову залежність мають показники твердості дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині, зібрані в 2012 р. (показник SDL дорівнює 2,09–21,29 %). Дані твердості ґрунту, отримані під час досліджень 2013 р., мають помірну просторову залежність (показник SDL коливається у межах 29,06–74,02 %). Істотна і стійка різниця рівня просторової залежності між даними різних років нашою думкою, що на формування будови ґрунту в червні 2013 р. вплинула більша кількість чинників, ніж у 2012 р., що призвело до відносної випадковості розподілу даних. Таким фактором, швидше за все, стала вологість, від якої твердість ґрунту залежить найбільшою мірою. За даними метеостанції міста Нікополь, сума опадів перших 6 місяців 2012 р. становить 175,9 мм, а 2013 р. – 216,1 мм, що підтверджує наше припущення. Побічно наше припущення підтверджується і більш низькими середніми значеннями твердості даних, зібраних у 2013 р. порівняно з даними 2012 р. (табл. 1).

Таблиця 2. Геостатистичні параметри твердості ґрунту

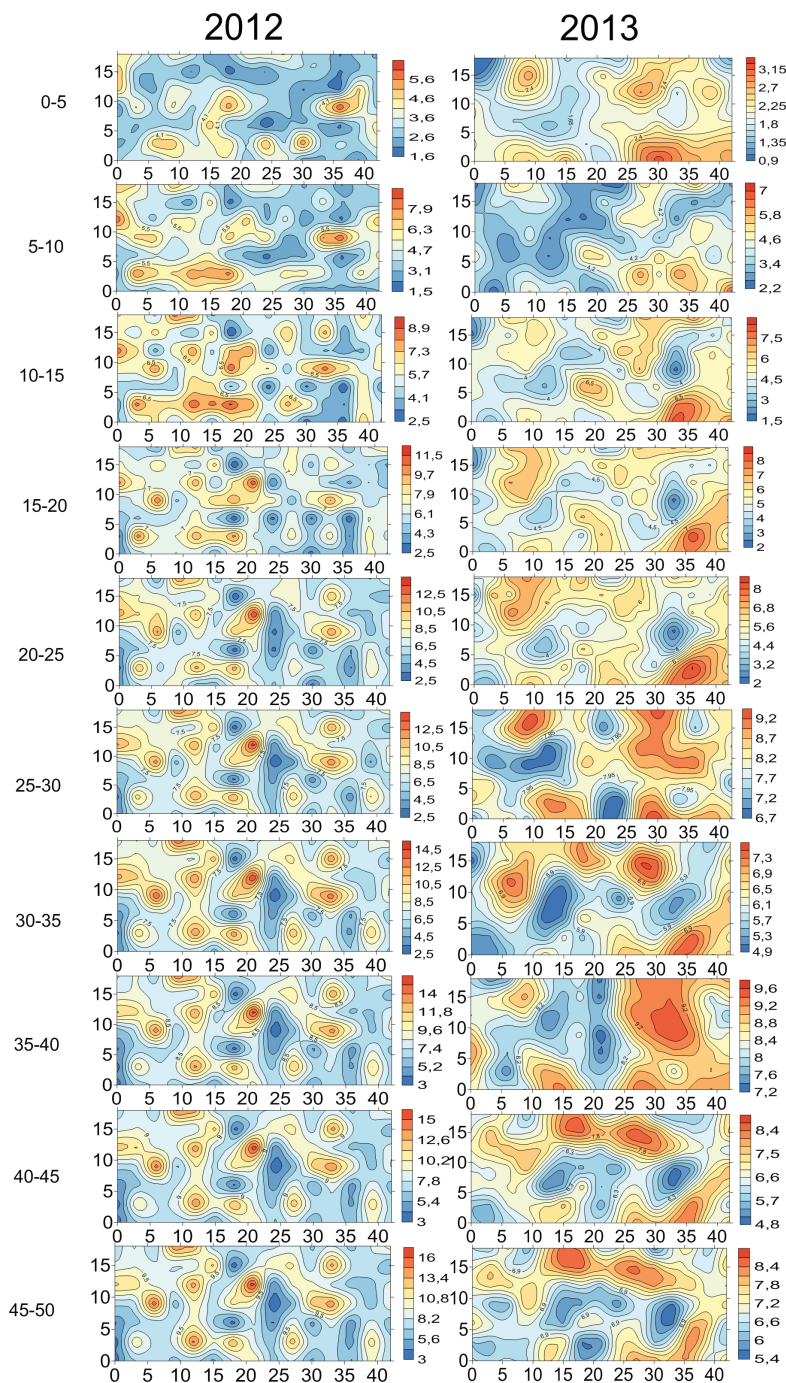
Table 2. Soil penetration resistance geostatistical parameters

Відстань від поверхні, см	$C_0$	$C_1$	$C_0+C_1$	SDL, %	Радіус	$C_0$	$C_1$	$C_0+C_1$	SDL, %	Радіус
0–5	0,02	0,94	0,96	2,09	4,50	0,60	0,37	0,97	61,86	7,79
5–10	0,20	2,83	3,03	6,60	4,31	0,70	1,32	2,02	34,66	7,14
10–15	0,49	3,26	3,75	13,07	3,50	1,02	2,44	3,46	29,48	7,20
15–20	0,69	4,70	5,39	12,81	3,34	1,50	2,64	4,14	36,24	7,51
20–25	0,90	5,98	6,88	13,09	3,79	2,21	3,08	5,29	41,78	8,02
25–30	1,50	7,26	8,76	17,13	4,01	2,12	1,45	3,57	59,39	7,41
30–35	1,50	8,11	9,61	15,61	4,30	4,5	1,58	6,08	74,02	8,00
35–40	2,10	8,98	11,08	18,96	4,11	2,41	1,08	3,49	69,06	7,60
40–45	2,65	9,66	12,31	21,29	4,19	3,40	2,11	5,55	61,27	6,80
45–50	2,62	11,23	13,85	18,92	4,04	3,50	1,78	5,28	66,29	6,01

**Примітка:**  $C_0$  – naget,  $C_1$  – частковий поріг; SDL – рівень просторової залежності (*spatial dependence level*) ( $100 \cdot C_0 / (C_0 + C_1)$ )

**Comment:**  $C_0$  – nagget,  $C_1$  – scale; SDL – level spatial dependence (*spatial dependence level*) ( $100 \cdot C_0 / (C_0 + C_1)$ )

Достовірно встановлена просторова залежність отриманих змінних передбачає наявність неоднорідності ґрунтового покриття вивченої ділянки за ознакою твердості. Це означає, що навколо будь-якої довільної вертикальної осі може бути окреслена ділянка, у межах якої спостерігається взаємний вплив ґрунтових мас, що веде до диференціації процесів перетворення та переміщення речовин і виникнення



Просторовий розподіл показників твердості у 2012 і 2013 роках.

0–5, ..., 45–50 – відстань від поверхні ґрунту, см

Soil penetration resistance distribution in 2012 and 2013.

0–5, ..., 45–50 – distance from soil surface, cm



неоднорідності її властивостей. Чим ближче містяться обговорювані ґрунтові маси, тим сильнішим має бути їх взаємний вплив. З віддаленням взаємодія слабшає, тому що її заглушає вплив ближче розташованих мас. Геостатистичний аналіз дає змогу визначити відстані, в межах яких має місце вказана вище взаємодія. Цей показник називають радіусом впливу. Значення радіуса впливу значно різняться в даних різних років: воно істотно менше і коливається в межах 3,34–4,50 м у даних 2012 р. і в межах 7,14–8,02 м у даних 2013 р. Ця відстань дорівнює середнім лінійним розмірам морфологічних структур, які є елементами неоднорідності.

Карти, представлені на рисунку, дають змогу візуалізувати ці морфоелементи.

На представлених картах ділянки з підвищеною твердістю позначені темним кольором. Ці ділянки розташовані в більш м'якому ґрунтовому матеріалі. Часто повторюючись, вони утворюють мозаїчний рисунок. Із просуванням углиб конфігурація послідовно змінюється і дає можливість побачити, як змінюється форма елементів неоднорідності. У тривимірному відображенні виділені об'єкти являють собою пов'язану ділянку всередині ґрунтового простору, обмежену з усіх боків природним кордоном у вигляді поверхні, у разі переходу через яку градієнт властивості набуває найбільшого значення. Градієнтний характер кордонів визначає структурну індивідуальність обговорюваних якісно-специфічних компонентів і дає підставу називати їх елементами організації ґрунту.

Найсвітліші ділянки являють собою місця з найбільш м'яким ґрунтом. Найімовірніше, що в цих місцях відбувається переважна фільтрація води. У поверхневих шарах діаметр таких ділянок менший, але їх кількість більша, ніж у глибоких. З просуванням униз за профілем чисельність таких каналів стає меншою, а величина їх діаметра більшою, тобто вони зливаються у ширші канали.

З плином часу змінюється структура просторового розподілу досліджуваної властивості. Тимчасову неоднорідність будови ґрунту можна простежити, порівнюючи карти просторового розподілу показників твердості ґрунту в різні роки дослідження (див. рисунок). За рік змінилася архітектура будови і характеристики її складових частин вивченої ділянки дерново-літегенного ґрунту на червоно-бурій глині. Добре видно, що в 2013 р. розмір морфоелементів значно більший, вони мають більш протяжну форму. Ділянки з м'яким субстратом розташовані в місцях, де у попередньому році спостерігалися ділянки підвищеної твердості.

Для точного визначення міри схожості – відмінності між будовою ґрунту в різні роки дослідження був проведений кореляційний аналіз між пошаровим розподілом показників твердості в різні роки досліджень. Результати кореляційного аналізу представлені в табл. 3.

Формування елементів неоднорідності дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині йде під стійким впливом негативних зворотних зв'язків з будовою даного ґрунтового шару, виявленою у попередній рік. Найбільший вплив на розподіл даних твердості у 2013 р. має будова верхніх шарів ґрунту дослідженої ділянки (0–20 см від поверхні вглиб) 2012 р.

Механізмом антагоністичних відносин структурних властивостей ґрунту у різні роки можуть виступати педотурбації, що виникають у результаті утворення тріщин в періоди висихання й усадки глинистих ґрунтів, зсипання в ці тріщини більш дрібного і насиченого органічними речовинами матеріалу поверхневих горизонтів [12]. Розтріскування – це універсальний механізм ліквідації надлишкових напружень,

що виникають у твердому тілі у разі змін об'єму у зв'язку з набуханням – стисненням (при зволоженні – просиханні та замерзанні – відтаванні) [16]. Про наявність великої кількості тріщин у цьому ґрунті йшлося в наших попередніх роботах [3, 20]. Як наслідок розтріскування і неоднорідності ґрунтового субстрату, що виникає, йде формування переважних потоків вологи у ґрунті, нерівномірне його змочування. У подальшому формування тріщин відбувається в місцях, де твердість більша і, відповідно, більша напруга. Можна також припускати, що у більш змочені та, відповідно, м'які ділянки проникають корені рослин, що мають стрижневу будову і йдуть далеко за межі дернового шару. Висока випаровувальна активність рослин може бути причиною виникнення більш сухих і твердих ділянок там, де в попередній рік показники твердості були найменші.

**Таблиця 3. Коефіцієнти кореляції Пірсона твердості ґрунту в 2012 і 2013 рр., наведені тільки значущі коефіцієнти ( $p < 0,05$ )**

**Table 3. Soil penetration resistance pearson correlation coefficients in 2012 and 2013, presented significant coefficients ( $p < 0.05$ )**

		2013									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2012	1	–	–	–0,21	–0,21	–0,27	–0,23	–0,26	–0,25	–0,26	–0,35
	2	–0,28	–0,22	–0,37	–0,35	–0,35	–0,38	–0,38	–0,32	–0,32	–0,44
	3	–0,30	–0,28	–0,36	–0,29	–0,31	–0,37	–0,37	–0,46	–0,37	–0,43
	4	–0,23	–0,22	–0,28	–0,22	–0,21	–0,28	–0,30	–0,40	–0,28	–0,38
	5	–0,23	–0,27	–0,30	–0,23	–0,20	–0,26	–0,20	–0,30	–	–0,25
	6	–0,20	–0,24	–0,28	–0,23	–	–0,29	–0,20	–0,30	–	–0,22
	7	–	–0,21	–0,25	–	–	–0,27	–	–0,26	–	–0,21
	8	–0,21	–0,22	–0,26	–	–	–0,27	–	–0,29	–	–0,23
	9	–0,20	–0,22	–0,25	–	–	–0,27	–	–0,29	–	–0,23
	10	–0,21	–0,23	–0,26	–	–	–0,27	–	–0,29	–	–0,22

**Примітка:** 1, ..., 10 – шари ґрунту на глибині 0–5, ..., 45–50 см

**Comment:** 1, ..., 10 – layers of soil at a depth of 0–5, ..., 45–50 cm

Ґрунтотворний процес як частина складної і динамічної природної системи, розвиваючись у часі, пристосовує ґрунт до оптимального функціонування в тій чи іншій екосистемі, організовуючи будову її твердої фази на різних ієрархічних рівнях [12]. Екоморфічний характер знайдених нами структурних елементів дає нам підстави вважати, що їх формування має прямий стосунок до підтримання біогеоценотичного покриву шляхом підтримання різноманітності екологічних ніш. Ґрунтові екоморфи охоплюють усю товщу ґрунту, тобто являють собою позагоризонтні елементи організації, і характерні для різних типів ґрунтів [14, 17, 19, 22]. На нашу думку, їх виявлення додає відсутню ланку в ієрархічну систему класифікації структурних елементів ґрунту, вирішує проблему стикування вищих і нижчих рівнів організації ґрунту як природного тіла, дає можливість сформулювати більш повні уявлення про процеси ґрунтоутворення, періодичні процеси у ґрунтах, збільшує набір засобів побудови прогнозів.

## ВИСНОВОК

Середні значення твердості дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині, як і довірчий інтервал, закономірно збільшуються з глибиною. Варіативність досліджуваної ознаки коливається в даних 2012 р. від 24,46 до 32,51% з максимумом на глибині 5–10 см від поверхні. Найбільший розкид даних, зібраних у 2013 р., спостерігається на глибині 20–25 см від поверхні при розкиді коефіцієнта варіації в межах 27,13 до 35,69%.

Розподіл показників твердості дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині, зібраних у 2012 р., характеризується високою просторовою залежністю (показник SDL дорівнює 2,09–21,29%). Дані твердості ґрунту, отримані при дослідженнях 2013 р., мають помірну просторову залежність (показник SDL коливається в межах 29,06–74,02 %).

Результати кореляційного аналізу свідчать про те, що формування будови елементів неоднорідності дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині йде під стійким впливом негативних зворотних зв'язків з розподілом показників твердості цього ґрунту, виявленим у попередній рік ( $p < 0,05$ ). Найбільший вплив на будову ґрунту у 2013 р. має розподіл твердості ґрунту верхніх шарів (0–20 см від поверхні вглиб) у даних 2012 р.

Виявлені нами елементи просторової організації дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині мають власні розміри, форму, характер взаємозв'язку, можуть називатися елементами неоднорідності ґрунту і є природними елементами організації ґрунту як природного тіла. Структурна цілісність, індивідуальність, залежність від екологічних умов дає підставу віднести виявлені нами едафічні структурні елементи до розряду ґрунтових екоморф.

1. *Belgard A.L. Forest vegetation of the southeast of the Ukrainian SSR.* Kiev: KSU, 1950. 263 p. (In Russian).
2. *Cambardella C.A. Moorman T.B., Novak J. M. et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Soc. Am.* 1994; 58: 1501–1511.
3. *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).
4. *Dmitriev E.A. Theoretical and methodological problems of soil science.* Moscow: GEOS, 2001. 374 p. (In Russian).
5. *Yeteravska L.V., Momot G.F., Lehtsier L.V. Reclaimed soils: approaches to classification and taxonomy. Gruntoznavstvo*, 2008; 9(3): 147–150. (In Ukrainian).
6. *Kozlov D.N., Sorokina N.P. Tradition and innovation in large-scale soil mapping. Digital soil kartogrifiya: theoretical and experimental studies.* Moscow: Because of soil Inst them. V.V. Dokuchaev, 2012: 53–57. (In Russian).
7. *Kornblum E.A., Mikhailov I.S., Nogina N.A., Targulian V.O. The basic properties of the scale morphological elements of soils. Toolkit for Describing Soils in the Field: All-Union. Acad. agricultural Sciences them. Vladimir Lenin, the Soil Institute of them. V.V. Dokuchaev, All-Union. on of the soil. USSR Academy of Sciences, 1982. 56 p. (In Russian).*
8. *Kornblum E.A. Basic levels of morphological organization of the soil mass. Soil Science*, 1975; 9: 36–38. (In Russian).
9. *Kunakh O.N., Prokopenko E.V., Zhukov A.V. Ecomorphic organization of steppe zone of Ukraine spiders communities. Gruntoznavstvo*, 2014; 14(2): 101–119. (In Russian).
10. *Medvedev V.V. The hardness of the soil.* Kharkov: Publishing House of the KP "Urban typography", 2009. 152 p. (In Russian).



11. *Medvedev V.V.* Heterogeneity as a natural manifestation of the horizontal structure of the soil cover. **Gruntoznavstvo**, 2010; 11(1–2): 6–15. (In Russian).
12. *Rozanov B.G.* **The morphology of the soil**. Moscow: Academic Project, 2004. 431 p. (In Russian).
13. *Voronin A.D.* **Structural and functional soils hydrophysics**. Moscow, 1984. 204 p. (In Russian).
14. Zadorozhna G.O. Spatial organization sod soil lithogenic to gray-green clay. **Biological Bulletin of Bohdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University**, 2012; 4: 48–57. (In Ukrainian).
15. *Zaharchenko A.B.* **Method of three-dimensional morphometry of the soil**. Herald TSU, 2004; 30: 50–57. (In Russian).
16. *Zakharchenko A.V., Rosnovsky I.N., Ivlev D.A.* Topographical and physical soil layers concavity. **Bulletin of Tomsk State University**, 2007; 300(II): 153–159. (In Russian).
17. *Zhukov A.V., Zadorozhna G.A., Demidov A.A., Rysina E.V.* Ecological importance of spatial variability of soil hardness in terms of natural farming. **Zbirnik Naukovih Pratz of Uman National University of Horticulture**, 2014; 84: 21–37. (In Russian)
18. *Zhukov O.V.* Belegard-Akimov ecomorphes and environmental matrices. **Ecology and Noosferolohiya**, 2010; 21(3–4): 109–111. (In Ukrainian)
19. *Zhukov A.V., Zadorozhna G.O.* Spatial variability of pedozem soil penetration resistance. **Biological Bulletin of Bohdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University**, 2013; 1(7): 34–49. (In Russian).
20. *Zhukov A.V., Zadorozhna G.A., Lyadsky I.V.* Physical properties of the rekultozems of the Nikopol manganese ore basin. **Problems of the steppe forest and forest land reclamation**, 2014; 43: 93–102. (In Ukrainian).
21. *Zhukov A.V., Zadorozhna G.A.* Spatial variability of the pedozem penetration resistance. **Biological Bulletin of Bohdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University**, 2013; 1(7): 34–49. (In Russian).
22. *Zhukov A.V., Zadorozhna G.A.* **Spatial variability of the tehnozems soil penetration resistance. Natural and man-made systems: restoration and sustainable functioning**: Ed. V.A. Androhanov. Novosibirsk: Publishing Ocarina, 2013: 104–107. (In Russian).

---

## ECOMORPHIC ORGANISATION OF THE SOIL BODY: GEOSTATISTICAL APPROACH

**A. V. Zhukov, G. A. Zadorozhnaya**

*Oles Honchar National University of Dnipropetrovsk  
72, Gagarin Ave., Dnipropetrovsk 49010, Ukraine  
e-mail: zadorojhnaya\_galina@list.ru*

The spatial heterogeneity dynamics of indicator penetration resistance of sod-lithogenic soils on red-brown clays of the recultivated region of Nikopol manganese ore basin was studied within two years. Statistical regularities have been established in the formation of soil structure. The levels of spatial dependence of soil penetration resistance have been defined by means of geostatistical methods within layers to 50 cm depth. Horizonless morphological formation with horizontal linear dimensions of 3.34–4.50 m in 2012 and 7.14–8.02 m in 2013 have been identified on the basis of the layered mapping of spatial distribution of penetration resistance in the structure of sod-lithogenic soils on red-brown clays. The results of correlation analysis indicate that the formation of structure elements of heterogeneity of studied area of soil occurs under a persistent

influence of negative feedbacks with the distribution of hardness values identified in the previous year. The identified elements of spatial organization of lithogenic to red-brown clay with their size, shape, nature of the relationship may be named as elements of heterogeneity of soil that are natural elements of soil as a natural body. Structural integrity, individuality, depending on the environmental conditions allows including the edaphic structural elements found in the category of soil ekomorf.

**Keywords:** soil penetration resistance, the spatial heterogeneity of soil structure, morphological features.

## ЭКОМОРФИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ТЕЛА: ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

**А. В. Жуков, Г. А. Задорожная**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара  
просп. Гагарина, 72, Днепропетровск 49000, Украина  
e-mail: zadorojhnaya\_galina@list.ru*

Исследована динамика пространственной неоднородности дерново-литогенной почвы на красно-бурых глинах участка рекультивации Никопольского марганцеворудного бассейна в течение двух лет по показателям твердости. Установлены статистические закономерности формирования почвенного строения. Методами геостатистики определены уровни пространственной зависимости показателей твердости по слоям на глубину 50 см. На основе послойного картографирования пространственного распределения твердости в строении дерново-литогенной почвы на красно-бурых глинах выявлены внегоризонтные морфологические образования с горизонтальными линейными размерами 3,34–4,50 м в 2012 г. и 7,14–8,02 м в 2013 г. Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что формирование строения элементов неоднородности изученного участка почвы происходит под стойким влиянием негативных обратных связей с распределением показателей твердости, выявленным в предыдущий год. Обнаруженные элементы пространственной организации дерново-литогенной почвы на красно-бурой глине имеют собственные размеры, форму, характер взаимосвязи, могут называться элементами неоднородности почвы и являются естественными элементами организации почвы как природного тела. Структурная целостность, индивидуальность, зависимость от экологических условий дает основание отнести обнаруженные эдафические структурные элементы к разряду почвенных экоморф.

**Ключевые слова:** твердость почвы, пространственная неоднородность, строение почвы, морфологические элементы.

Одержано: 21.04.2015