



УДК 631.4

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗМІНИ ТВЕРДОСТІ РЕКУЛЬТОЗЕМІВ НІКОПОЛЬСЬКОГО МАРГАНЦЕВО-РУДНОГО БАСЕЙНУ

О. В. ЖУКОВ, Г. О. ЗАДОРЖНА

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара,
просп. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ, Дніпропетровська область, Україна, 49000,
e-mail: zadorojhnaya_galina@list.ru*

Протягом двох років досліджували просторову неоднорідність твердості дерново-літогенного ґрунту на сіро-зеленій глині ділянки рекультивациі Нікопольського марганцеворудного басейну. Встановлено статистичні закономірності формування ґрунтової будови. Методами геостатистики визначено рівні просторової залежності показників твердості за шарами до глибини 50 см. На основі поширеного картографування просторового розподілу твердості вивченого ґрунту виявлені позагоризонтні морфологічні утворення, які мають власні розміри, форму, характер взаємозв'язку та можуть називатися елементами неоднорідності ґрунту і є структурними елементами організації ґрунту як природного тіла. Конфігурація виявлених морфологічних елементів знаходиться у прямій залежності від їх конфігурації у попередньому році. Про це свідчить позитивний кореляційний зв'язок будови верхніх (0-5, 5-10, 15-20 см вглиб від поверхні) шарів ґрунту з будовою профілю, яка була виявлена в попередній рік ($p < 0,05$). Результати кореляційного аналізу свідчать про те, що просторова конфігурація морфологічних елементів на рівні 30-40 см від поверхні формується під стійким впливом негативних зворотних зв'язків з будовою даного ґрунтового шару, що була виявлена у попередній рік, і шарів, розташованих нижче ($P < 0,05$).

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

Вступ. Профільний метод дослідження ґрунтів, в основі якого лежить морфологічне виділення генетичних горизонтів і їх послідовне детальне дослідження, є головним інструментом польових досліджень і генетичного аналізу ґрунту в цілому (Розанов, 2004; Яковенко, 2008). Він проводиться з метою з'ясування значення і генетичного сенсу тих чи інших морфологічних ознак і будується на основі поєданого макро-, мезо- і мікроаналізу виходячи з концепції рівнів структурної організації ґрунту. Під структурним рівнем організації того чи іншого об'єкту розуміється така група матеріальних об'єктів певної форми, будови і складу, в якій всі індивідуальні представники характеризуються принципово однотипним перетворенням речовини та енергії і аналогічними як за напрямком, так і за інтенсивністю взаємодіями (Розанов, 2004).

У ґрунті виділяються наступні структурні рівні (Воронин, 1979): кристало-молекулярний (молекулярно-іонний), рівень елементарних ґрунтових частинок, рівень агрегатів, генетичний горизонт, педон, ґрунтовий покрив території. Однак у зв'язку з впровадженням у ґрунтознавство математичних та інформаційних

методів, методів моделювання, кількісних характеристик процесів і явищ визначилася проблема стиковки вищих і нижчих рівнів організації ґрунту як природного тіла (Дмитриев, 2001). Суть проблеми в неузгодженості шляхів виділення елементів організації на субпрофільних рівнях та рівнях організації ґрунтового покриву. Відмінності пов'язані з вибором критеріїв проведення меж у ґрунтовому просторі. При ізометричності елементів організації ґрунту нижчих рівнів на горизонтному рівні організації латеральна протяжність елементів організації може виявитися набагато порядків вищою, ніж по вертикальній осі. При цьому нерідко виявляється, що окремі горизонти в ґрунтовому покриві мають різну латеральну протяжність. Для вирішення проблеми потрібно в якості деякого вихідного ґрунтового тіла вибрати таке, від якого можна перейти як на нижчі, так і на вищі рівні організації. Таке тіло обов'язково повинне охоплювати всю товщу ґрунту, отже, представляти собою позагоризонтні елементи організації (Дмитриев, 2001).

При вивченні закономірностей формування топологічних і фізичних властивостей

внутрішньогрунтових поверхонь і побудови математичної моделі вологопереносу в ґрунтових горизонтах, Захарченко з співавторами (2005) відходять від поняття ґрунтового профілю і пропонують досліджувати тривимірні морфи та їх взаємодію. Він розділяє тіло ґрунту на просторово локалізовані морфоструктури, що мають індивідуальні фізичні параметри і властивості та розглядає ґрунтове тіло як систему просторово і фізично взаємопов'язаних морфонів, які беруть участь у регуляції потоків речовини та енергії, що надходять у ґрунтове тіло. За Е.А. Корнблюмом (Корнблум, 1975) ці тривимірні морфи є «стратонами». Стратон – горизонтальний індивідуум, мінімальна статистично однорідна частина горизонту (Корнблум и др., 1982). Відповідно поліпедону виділяють «полістратон» – сукупність однакових стратонів, максимальна статистично однорідна частина горизонту. І нарешті, відповідно педонеллі виділяється «елементарна комірка стратону» – фрагмент стратону, що містить повний набір середніх структурних елементів останнього в їх характерному взаємному положенні. Отже, ґрунт – це сукупність горизонтів, поліпедон – сукупність полістратонів, педон – сукупність стратонів, педонелла – сукупність елементарних комірок (Корнблум, 1982). Далі елементарні комірки вже поділяються на структурні елементи, що їх складають (педи). Отже, морфологічні елементи, виявлені і описані у вищезазначених дослідженнях, лежать в межах горизонтів і є їх складовими частинами.

Актуальним предметом вивчення в галузі екологічного ґрунтознавства є процеси формування структури і родючості рекультивацийними землями. Вони утворені в результаті видобутку корисних копалин відкритим способом і є невирішеною проблемою їх господарського призначення (Пространственная агроекология..., 2013). При вивченні нами просторової неоднорідності твердості рекультоземів за допомогою пенетрометра були виявлені просторово локалізовані морфоструктури, що є цільними частинами ґрунтового тіла і своїми розмірами виходять за межі горизонтів (Жуков и др., 2013, 2014; Жуков, Задорожная, 2013; Задорожная, 2012). Це інтегральні тривимірні фізичні утворення, які мають індивідуальні параметри, властиві різним ґрунтам незалежно від їх класифікації та відрізняються від описаних раніше ґрунтових морфологічних елементів. Йдеться про вивчення фактично нового для ґрунтознавства класу морфоструктур, їх індивідуальних особливостей та особливості їх

взаємодій. Подібні погляди висловлює і Г. М. Міньковський в роботах по структурному підході (Миньковский, 1995), в яких ґрунт представлений системою морфоелементів різного рангу, кожен з яких має свій індивідуальний ареал у фізичному просторі та гіперпросторі факторів, лише деякою мірою пов'язаний з ареалами інших елементів.

Для вивчення будови ґрунтового тіла у різних масштабах запропонований метод тривимірної морфометрії (Захарченко, 2005). Це метод пошарових вертикальних зрізів, при якому всі топологічні і фізичні вимірювання проектуються на горизонтальну або вертикальну площину, що дозволяє проводити їх візуалізацію та аналітичне порівняння. Однак метод вимірювання твердості ґрунту пенетрометром є незрівнянно менш трудомістким і, в той же час, досить інформативним (Жуков та ін., 2013, 2014). Він звільняє дослідника від виснажливої праці підготовки зрізів ґрунтів і дозволяє отримати великий обсяг даних за відносно короткий час, а значить, сприяє детальнішому і раціональному морфологічному аналізу. Крім того, вимірювання твердості ґрунту не порушує його природної будови, що дозволяє досліднику вивчати не тільки просторові, але і часові зміни цієї ознаки.

Метою роботи є обґрунтування існування позагоризонтних внутрішньогрунтових морфоструктур в техноземах на підставі вивчення просторово-часової динаміки твердості дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах Нікопольського марганцеворудного басейну.

Матеріали і методи. Збір матеріалу проводився навесні 2012 і 2013 рр. на ділянці рекультивациі Нікопольського марганцеворудного басейну у м. Орджонікідзе. В якості субстрату було обрано дерново-літогенний ґрунт на сіро-зелених глинах (назва ґрунту згідно Єстеревської та ін., 2008).

Дослідний полігон – це регулярна сітка з розміром комірок – 3 м, яка складається з 7 трансект по 15 проб кожна. Відповідно його розміри становлять 42 м × 18 м.

Вимірювання твердості ґрунтів проводилося у польових умовах за допомогою ручного пенетрометра Eijkelkamp на глибину до 50 см з інтервалом 5 см. Основною робочою частиною твердоміру є плунжер, нагвинчений на нижній кінець штоку, який вштовхується в досліджений ґрунт. При цьому пружина, що вимірює, стискається пропорційно величині опору деформації ґрунту (Козлов, 2012). Середня похибка результатів вимірювань приладу складає ± 8%. Вимірювання твердості ґрунту зроблені

конусом поперечного перерізу 2 см² в кожному осередку полігону.

При статистичних розрахунках була використана програма Statistica 7.0, для двовимірного картографування та оцінки геостатистичних показників – програма Surfer 8.0.

Результати та обговорення. На території, де розташований Нікопольський марганцевий басейн, зональний тип ґрунту - чорнозем південний. Гранулометричний склад і зволоження: глина важка, суха, з глибини 145 см – свіжа. Тип рослинності: бобово-злакова суміш і різнотрав'я (Пространственная агроекология ..., 2013).

Морфологічний опис дерново-літогенного ґрунту на сіро-зелених глинах:

НР₁ (0–6 см): сіро-бурий, середньосуглинковий за гранулометричним складом, досить пухкий, однорідний, пронизаний дрібними корінцями трав; за кольором – можлива присутність гумусових сполук (приблизно до 1%); інтенсивно скипає при дії НСІ; перехід до наступного горизонту майже не помітний, визначається за підвищенням щільності та збільшенням тріщинуватості.

Р_h (6–20 см): карбонатний суглинок, середньосуглинковий зі значними включеннями білозірки та дрібних уламків каменю. Колір дещо світліший, ніж у попереднього горизонту; майже безструктурний, на підсохлих стінках значна тріщинуватість, досить широкі вертикальні тріщини; місцями більш виражена грудкувата крупно-зерниста структура, значна кількість тонких корінців трав; інтенсивно взаємодія з 10-% НСІ; перехід до наступного горизонту за зміною кольору, чіткий.

Р₁ (20–55 см): насипний пласт сіро-зеленої глини, строкатий за кольором, що обумовлено механічними вкрапленнями щільної темно-сірої глини, дуже щільної іржаво-жовтої глини, майже білої безструктурної глини; значна тріщинуватість, у вертикальних тріщинах проходять тоненькі корінці трав, домішки білозірки; безструктурний; бурхлива взаємодія з НСІ; перехід до наступного горизонту поступовий, за щільністю.

Р₂ (55–145 см): насипна порода, строката за кольором, представлена важкою щільною глиною; однаковою мірою наявні темно-сірі до чорного кольору безструктурні глини з домішками рожевого кольору, а також жирні на дотик сірі глини, менше – оливково-зелені з вкрапленнями палево-сірої глини; зрідка зустрічається коріння; тріщинуватість на підсохлих стінках; інтенсивна взаємодія з НСІ;

перехід до наступного горизонту за збільшенням щільності та більш вираженою тріщинуватістю.

Р₃ (145–240 см): щільна глина, досить строката з переважанням світло-сірої жовтуватої; безструктурна; тріщинуватість практично не виражена; деякі корені зустрічаються до глибини 155 см; слабо реагує з НСІ, на конгломератах світло-сірої глини – інтенсивно.

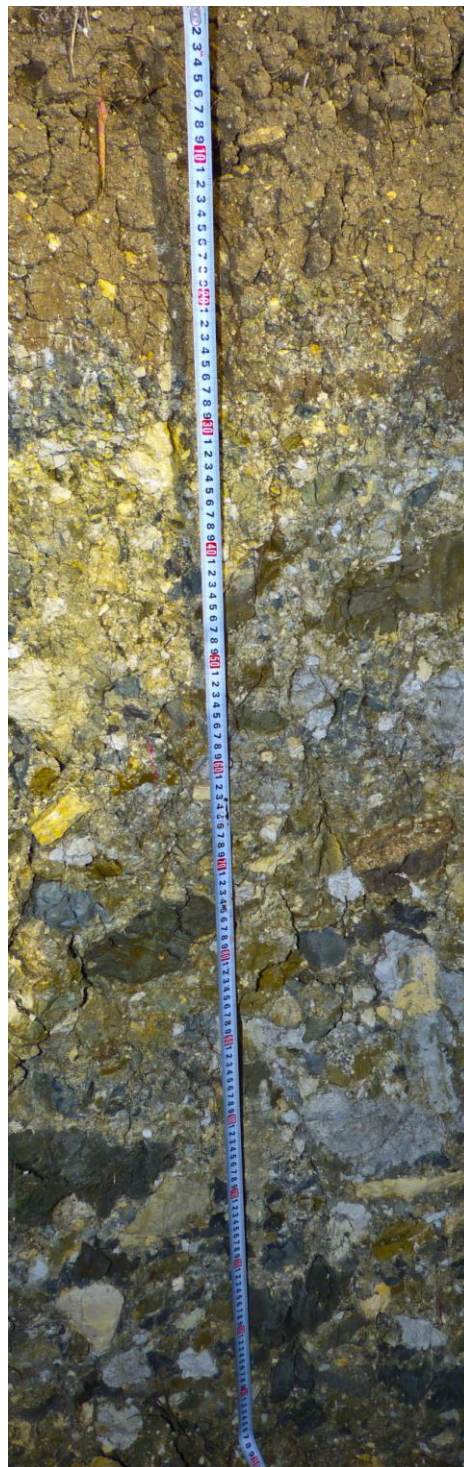


Рис. 1. Профіль дерново-літогенного ґрунту на сіро-зелених глинах.

Fig. 1. The profile of sod-lithogenic soil at gray-green clay.

Ґрунт діагностовано як дерново-літогенний глинистий, слабогумусований, слабкорозвинений, карбонатний на сіро-зелених глинах (Пространственная агроэкология ..., 2013).

Описові статистики варіювання твердості дерново-літогенного ґрунту на сіро-зеленій глині окреслюють загальні закономірності, виявлені під час досліджень як в 2012, так і в 2013 роках (табл. 1).

Середні значення твердості та довірчий інтервал закономірно збільшуються з глибиною. Граничні значення твердості у 3 МПа, коли коріння рослини не може подолати опір ґрунту і зупиняється в рості (Faechner et al., 2000; Bathke et al., 1992), зустрічаються вже на глибині 10 см. Такі високі значення твердості повинні негативно позначатися на первинній продуктивності рослин. Однак при візуальному обстеженні ґрунтового профілю ми виявляли коріння деяких рослин на глибині 1,5 метрів. Вірогідно, розвиток коренів відбувається в порожнині тріщин, якими рясніє цей ґрунт (Пространственная агроэкология ..., 2013; Задорожна, 2012). Значна тріщинуватість техноземів є наслідком розвиненої здатності цих ґрунтів до усадки (Жуков та ін., 2013). Виникнення значних тріщин є результатом педотурбаційного ґрунтоутвірального процесу

(Розанов, 2004). При виникненні тріщин, які пронизують майже всю ґрунтову товщу, відбувається осипання ґрунтової маси зі стінок тріщин, внаслідок чого здійснюється свого роду педотурбаційний колообіг ґрунтової маси. В результаті цього відбувається профільне вирівнювання властивостей техноземів. Це чітко видно з морфологічного опису технозему. За понад піввіку його існування гумусований шар має грубизну трохи більше 10 см при дуже низькому вмісту гумусу.

Причиною високих значень твердості досліджуваного ґрунту може бути методична особливість вимірювання твердоміром: показання приладу різко змінюються при попаданні плунжеру на утворення підвищеної твердості. Такими утвореннями є агрегати брилистої фракції дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах. Як встановлено нами раніше, вміст брилистої фракції в цих ґрунтах коливається в межах 29,05–74,75% (Жуков и др., 2013).

Найбільші значення коефіцієнту варіації твердості ґрунту спостерігаються у верхніх шарах (0–15 см від поверхні). Тут варіативність показника перевищує 53%. Глибше за профілем ґрунт стає більш гомогенним, коефіцієнт варіації знижується до 25–35%.

Таблиця 1.
Описові статистики твердості ґрунту

Table 1.
Soil penetration resistance descriptive statistics

Твердість на глибині, см	Середнє	Довірчий інтервал		CV, %
		-95,00 %	+95,00 %	
2012 р.				
0–5	2,16	2,00	2,32	38,79
5–10	3,63	3,26	4,01	53,46
10–15	5,25	4,83	5,66	41,16
15–20	6,28	5,85	6,71	35,37
20–25	6,80	6,38	7,21	31,67
25–30	7,35	6,89	7,80	31,90
30–35	7,67	7,17	8,17	33,81
35–40	8,21	7,67	8,76	34,48
40–45	8,81	8,22	9,41	35,03
45–50	9,33	8,70	9,95	34,53
2013 р.				
0–5	1,74	1,58	1,90	46,10
5–10	3,35	3,11	3,59	36,67
10–15	4,60	4,33	4,86	29,68
15–20	5,65	5,33	5,96	28,99
20–25	6,10	5,76	6,43	28,72
25–30	6,31	6,02	6,61	24,08
30–35	6,42	6,12	6,72	24,53
35–40	6,52	6,21	6,83	24,56
40–45	6,77	6,44	7,10	25,12
45–50	7,09	6,77	7,42	23,63

Такий результат цілком зрозумілий: на ґрунт поверхневих шарів впливає більша кількість факторів (атмосферні явища, життєдіяльність рослин і тварин, антропогенний вплив), які й визначають його неоднорідність.

Геостатистичні параметри показників твердості ґрунту представлені в таблиці 2. Наггет-ефект вказує на значущість просторової компоненти мінливості ознаки і, в нашому випадку, стійко збільшується з глибиною. Частковий поріг, навпаки, відображає просторову залежність варіювання твердості ґрунту. Сумарне значення часткового порогу і наггет-ефекту дозволяє оцінити рівень просторової залежності (показник SDL, або просторове відношення). Якщо просторове відношення знаходиться в межах 0–25 %, то мова йде про сильну просторову залежність; якщо просторове відношення знаходиться в межах 25–75 %, то у такому випадку просторова залежність змінної є помірною; якщо просторове відношення перевищує 75 %, то змінна розглядається як слабо просторово залежна (Cambardella, 1994). Відповідно до наших результатів високу просторову залежність можна простежити за показниками, отриманими у 2013

році у верхніх (0–15 см від поверхні) і нижніх (35–50 см від поверхні) шарах вивченої товщі ґрунту. У вказаних шарах формування неоднорідності ґрунту відбувається під впливом вираженого направлено впливу певного фактору (або декількох факторів).

На основі варіограм були побудовані карти просторового розподілу значень твердості ґрунту за шарами (рисунок 2). З цих карт видно, що твердість вивченого ґрунту істотно змінюється у просторі, як у горизонтальному, так і вертикальному напрямку. Ці зміни не хаотичні та дозволяють говорити про наявність просторової структури ґрунту. У будові ґрунту ми бачимо виявлено поєднання областей підвищеної твердості, яке формує овальні позагоризонтні утворення, пронизуючі досліджені шари. Їх форма видозмінюється з глибиною: лінійні розміри збільшуються вниз за профілем, що відповідає зростаючому з глибиною значенню радіуса впливу (табл. 2). Очевидно, що дрібніші поверхневі утворення зливаються в більші структури, що є мають форму підстав. Можливо, така форма ґрунтової будови забезпечує його протиерозійні властивості та механічну стійкість.

Таблиця 2.
Геостатистичні параметри твердості ґрунту

Table 2.
Soil penetration resistance geostatistical parameters

Твердість на глибині, см	C_0 (Наггет)	C_1 (Частковий поріг)	C_0+C_1 (Поріг)	SDL, %	Радіус впливу, м
2012					
0–5	0,22	0,45	0,67	32,84	6,05
5–10	2,00	1,58	3,58	55,87	8,24
10–15	1,75	2,99	4,74	36,92	5,92
15–20	3,48	1,58	5,06	68,77	4,31
20–25	3,25	1,28	4,53	71,74	4,31
25–30	3,87	1,66	5,35	72,34	12,23
30–35	3,31	3,20	6,51	50,84	10,70
35–40	3,87	1,66	5,53	72,34	12,23
40–45	3,66	6,05	9,66	37,89	15,90
45–50	4,51	5,98	10,49	42,99	15,50
2013					
0–5	0,15	0,52	0,67	22,39	7,00
5–10	0,20	1,30	1,50	13,33	6,02
10–15	0,30	1,40	1,72	17,65	5,2
15–20	1,01	1,17	2,18	46,33	3,71
20–25	0,74	1,00	1,74	42,53	5,32
25–30	0,55	1,28	1,83	30,05	3,50
30–35	1,00	1,03	2,03	49,26	7,40
35–40	0,46	1,60	2,06	22,33	14,84
40–45	0,46	1,89	2,35	19,57	14,32
45–50	0,50	1,87	2,37	21,10	15,40

Примітка: SDL – рівень просторової залежності (spatial dependence level) ($100 \times C_0 / (C_0 + C_1)$)

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

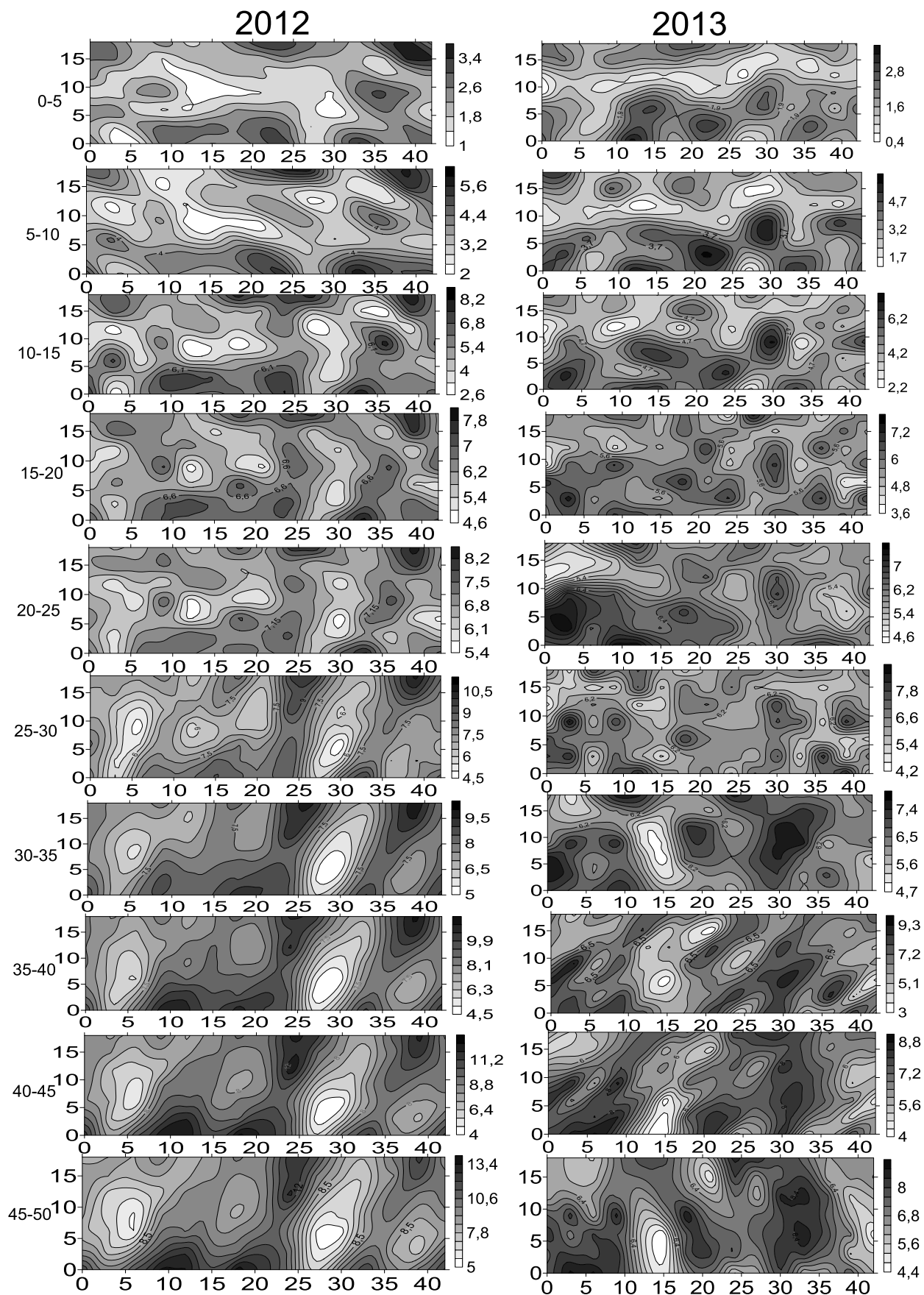


Рис. 2. Просторова мінливість твердості дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах в різних шарах ґрунту в 2012 і 2013 роках, МПа.
Примітка: 0–5, 5–10, ..., 45–50 – відстань від поверхні (см)

Fig. 2. Soil penetration resistance distribution in 2012 and 2013 years.
Note: 0–5, ..., 45–50 – distance from the soil surface, cm

На рисунку представлені дані, зібрані нами за два сезони досліджень. Візуальна оцінка свідчить про те, що конфігурація просторової структури вивченого ґрунту змінюється з часом: у осередках, де у 2012 році ґрунт був найтвердішим у 2013 році він, навпаки, стає м'якшим, ніж навколишня ґрунтова маса. Особливо чітко це видно при розгляді карт розподілу ознаки в нижніх шарах ґрунту.

Для підтвердження наших припущень був проведений кореляційний аналіз (таблиця 3). З даних, наведених у таблиці, чітко простежується прямо пропорційний кореляційний зв'язок будови верхніх (0–5, 5–10, 15–20 см вглиб від поверхні) шарів ґрунту і обернено пропорційний між будовою нижніх (25–30, ..., 45–50 см) шарів у різні роки дослідження. Варіабельність твердості ґрунту в шарі 0–5 см в 2013 р. несе у собі інформацію про будову практично усього профілю попереднього року, про що свідчать статистично вірогідні позитивні коефіцієнти кореляції з даними твердості ґрунту в усіх шарах у 2012 р. (крім шару 45–50 см). Твердість ґрунту в шарі 5–10 см у 2013 р. статистично вірогідно корелює з твердістю ґрунту шарів від поверхні до 20 см в глибину, яка спостерігалася у 2012 році. Також, твердість ґрунту в шарі 15–20 см в 2013р. характеризується кореляційними зв'язком з показниками 2012 р. у шарах 5–10 – 15–20 см.

Твердість ґрунту безпосередньо впливає на формування структури рослинного покриву (Медведев, 2009). Формуючи сприятливе або обмежуюче середовище для розвитку кореневої системи, твердість ґрунту впливає на бонітет рослинного покриву та його видовий склад (Бондарь, Жуков, 2011). У свою чергу особливості

рослинного покриву впливають на кількісний та якісний склад популяцій тваринного населення ґрунту (Жуков, Андрусевич, 2013). Також, твердість безпосередньо впливає на формування структури угруповань педобіонтів (Андрусевич, 2014). Гомогенізуючий вплив коренів рослин і риючої активності педобіонтів приводить до того, що розмір ґрунтових утворень, які знаходяться ближче до поверхні, зменшується (Пространственная ..., 2013). Очевидно, тваринні та рослинні організми використовують освоєний ними ґрунт, значно впливають на його будову для подальшої життєдіяльності, про що можуть свідчити часові кореляційні зв'язки у верхніх шарах ґрунту, при чому сила та кількість цих зв'язків зменшуються з глибиною. Також слід враховувати вплив абіотичних чинників. Їхня дія найбільше трансформується через велику здатність техноземів унаслідок майже повної відсутності водотривкої структури до формування розгалуженої сітки тріщин, які проникають на значну глибину ґрунту. Вірогідно, ґрунт «запам'ятовує» розташування основних тріщин минулого року та повторює його у цьому році. Саме конфігурація тріщин, які заповнюються пилуватою ґрунтовою масою внаслідок педотурбаційного процесу, є драйвером просторової варіабельності твердості ґрунту. На явища абіотичного формування тріщин у ґрунті накладається конфігурація розміщення кореневих систем рослин та просторово варіабельна діяльність ґрунтових тварин. Композиція усіх цих процесів, активність яких зосереджена саме у верхніх ґрунтових шарах, пояснює встановлені позитивні кореляційні зв'язки між твердістю ґрунту в двох послідовних роках.

Таблиця 3.

Коефіцієнти кореляції Пірсона твердості ґрунту в 2012 і 2013 рр.

(показані тільки значущі коефіцієнти $p < 0,05$)

Table 3.

Soil penetration resistance pearson correlation coefficients in 2012 and 2013

(only significant coefficients are presented ($p < 0.05$))

		2013									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2012	1	0,29	0,19	–	–	–	–	–	–	–	–
	2	0,36	0,31	–	0,17	–	–	–	–	–	–
	3	0,41	0,23	–	0,17	–	–	–	–	–	–
	4	0,32	0,19	–	0,20	–	–	–	–	–	–
	5	0,19	–	–	–	–	–0,19	–	–0,15	–	–
	6	0,17	–	–	–	–	–0,20	–0,12	–0,18	–	–
	7	0,16	–	–	–	–	–	–0,16	–0,15	–	–
	8	0,20	–	–	–	–	–	–0,16	–0,18	–	–
	9	0,18	–	–	–	–	–	–0,11	–0,15	–	–
	10	–	–	–	–	–	–	–0,15	–0,14	–	–

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

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

Просторове співвідношення показників твердості нижніх шарів ґрунту також залежить від його будови, яка спостерігалася в попередній рік, однак цей зв'язок обернено пропорційний. Конфігурація морфологічних елементів на рівні 30–40 см від поверхні формується під стійким впливом зворотних зв'язків з будовою даного ґрунтового шару, виявленою у попередній рік і шарів, розташованих нижче.

У глибших шарах функціональна активність рослин та тварин, як фактор ґрунтоутворення, має значно менше значення. Очевидно, що на будову глибинних шарів дерново-літогенного ґрунту більший вплив справляють фактори фізичної природи. В їх якості можуть виступати педотурбації, що виникають у результаті утворення тріщин в періоди висихання і усадки глинистих ґрунтів, зсипання в ці тріщини дрібнішого і насиченого органічними речовинами матеріалу поверхневих горизонтів (Розанов, 2004). Розтріскування – це універсальний механізм ліквідації надлишкових напруг, що виникають у твердому тілі при змінах об'єму у зв'язку з набуханням – стисненням (при зволоженні – просиханні і замерзанні – розмерзанні) (Захарченко, 2005). Про наявність великого числа тріщин в цьому ґрунті говорилося в наших попередніх роботах (Жуков та ін. 2014; Пространственная агроэкология ..., 2013). Як наслідок розтріскування і виникаючої неоднорідності ґрунтового субстрату йде формування переважних потоків вологи в ґрунті, нерівномірне його змочування. У подальшому формування тріщин відбувається в місцях, де твердість більша і, відповідно, більша напруга. Можна також припустити, що у насиченіші вологою і, відповідно, менш тверді ділянки, проникає коріння рослин, яке має стрижневу будову далеко за межі дернового шару. Висока випаровуюча активність рослин може бути причиною виникнення сухіших і твердіших ділянок там, де в попередній рік показники твердості були найменші.

Синергізм у взаємодії різноспрямованих чинників створює умови для виникнення неоднорідності ґрунтового покриву. Ґрунтоутворювальний процес як частина складної динамічної природної системи, розвиваючись у часі формує ґрунт, організовуючи його будову, як об'єкт, що оптимально функціонує в екосистемі. Виявлені елементи просторової організації ґрунту володіють іманетними розмірами, формою, характером взаємозв'язку і, на нашу думку, мають пряме відношення до підтримання біогеоценологічної рівноваги шляхом формування різноманітності екологічних ніш. Обговорювані

елементи організації можна називати елементами неоднорідності, бо вони відрізняються згідно з критерієм твердості від суміжних елементів організації. Знайдені нами морфологічні елементи відокремлені від суміжного ґрунтового простору градієнтними межами, які відносять до найбільш «природних», оскільки їх положення в ґрунтовому просторі найменшою мірою залежить від позицій і поглядів дослідника (Дмитриев, 2001). Останнє дозволяє зробити висновок, що виявлені нами морфологічні утворення є природними елементами організації ґрунту як природного тіла.

Висновки:

1. Середні значення твердості ґрунту закономірно збільшуються з глибиною від 2,16 до 9,33 МПа в 2012 році та від 1,74 до 7,09 у 2013 році. Рівні твердості більше 3 МПа зустрічаються вже з глибини 10 см від поверхні. Найбільша варіативність значень твердості ґрунту спостерігається у верхніх шарах (коефіцієнт варіації до 53 %); у нижніх шарах вивченої товщі ґрунту цей показник зменшується до 25–35 %.

2. Отримані дані твердості ґрунтів мають високий та середній ступінь просторових зв'язків. Найсильніша просторова залежність простежується за показниками, отриманими в 2013 році у верхніх (0–15 см від поверхні) і нижніх (35–50 см від поверхні) шарах вивченої товщі ґрунту.

3. На основі пошарового картографування просторового розподілу твердості ґрунту виявлені позагоризонтні морфологічні утворення, які можуть бути описані варіограмами з радіусом впливу від 4,31 до 15,9 м.

4. Конфігурація виявлених за патернами твердості морфологічних елементів поверхневих шарів вивченого ґрунту знаходиться у прямій залежності від конфігурації патернів у попередньому році. Про це свідчить статистично вірогідний ($p < 0,05$) прямий кореляційний зв'язок твердості верхніх (від поверхні 0–5, 5–10, 15–20 см) шарів ґрунту з твердістю ґрунту, виявленою у попередній рік.

5. Результати кореляційного аналізу свідчать про те, що конфігурація морфологічних елементів на рівні 30–40 см від поверхні формується під стійким впливом зворотних зв'язків з будовою даного ґрунтового шару, виявленою у попередній рік, і шарів, що розташовані нижче ($p < 0,05$).

6. Виявлені нами елементи просторової організації ґрунту володіють власними розмірами, формою, характером взаємозв'язку та можуть називатися елементами неоднорідності ґрунту і є природними елементами організації ґрунту як природного тіла.

Список літератури:

1. Андрусевич Е.В. Экологическое пространство животного населения дерново-литогенных почв на красно-бурых глинах / Е.В. Андрусевич // Грунтознавство. – Днепропетровск, 2014. – Т. 15, № 1–2. – С. 120–134.
2. Бондарь Г.А. Экологическая структура растительного покрова, сформированного в результате самозарастания дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках / Г.А. Бондарь, А.В. Жуков // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011. – № 1. – С. 54–62.
3. Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А.Д. Воронин. М.: Ид-во МГУ, 1984. – 204 с.
4. Дмитриев Е.А. Теоретические и методологические проблемы почвоведения / Е.А. Дмитриев. – М.: ГЕОС, 2001. – 374 с.
5. Стеревська Л. В. Рекультивовані ґрунти: підходи до класифікації і систематики / Л. В. Стеревська, Г. Ф. Момот, Л. В. Лехцієр // Грунтознавство: науковий журнал. - 2008. - Т. 9, №3. - С. 147 – 150.
6. Жуков А.В. Агрегатная структура техноземов Никопольского марганцево-рудного бассейна / О.В. Жуков, Г.А. Задорожная, И.В. Лядская // Биологический вестник Мелитопольского государственного университета им. Богдана Хмельницкого. – 2013. – Т. 3, № 3. – С. 274–286.
7. Жуков А.В. Экологическое значение пространственной изменчивости твердости почвы в условиях природного земледелия / А.В. Жуков, Г.А. Задорожная, А.А. Демидов, Е.В. Рысина // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. – Умань, 2014. – вип. 84. – С. 21–37
8. Жуков А.В. Пространственная изменчивость твердости педоземов / А. В. Жуков, Г. А. Задорожная // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького – 2013. – № 1(7). – С. 34–49.
9. Жуков О.В. Фізичні властивості рекультоземів Нікопольського марганцеворудного басейну / О.В. Жуков, Г.О. Задорожна, І. В. Лядська // Питання степового лісознавства та лісової рекультиваци земель. – Дніпропетровськ: Ліра, 2014. – Вип. 43. – С. 93-102.
10. Жуков А.В. Пространственная изменчивость твердости педоземов / А.В. Жуков, Г.А. Задорожная // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького – 2013. – № 1(7). – С. 34–49.
11. Жуков А.В. Пространственная изменчивость твердости техноземов / А.В. Жуков, Г.А. Задорожная // 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 Окarina, 2013. – С. 104–107.
12. Жуков А.В. Влияние эдафических факторов на обилие популяции моллюсков *Vallonia pulchella* в дерново-литогенных почвах на красно-бурых глинах / А. В. Жуков, К. В. Андрусевич // Zoocenosis–2013. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах VII Міжнародна наукова конференція. Україна, Дніпропетровськ, ДНУ, 22–25.10.2013 р. – С. 139–138.
13. Жуков О.В. Динаміка усадки дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах за шарами / О.В. Жуков, Г.О. Задорожна, Т.Ю. Бець, І. В. Лядська // Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи), 2013. – Т. 5. Вип. 3. – С. 425–430.
14. Задорожна Г.О. Просторова організація дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах / Г.О. Задорожна // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького – 2012. – № 4. – С. 48–57.
15. Захарченко А.В. Метод трехмерной морфометрии почв / А. В. Захарченко // Вестник ТГУ, 2004. – № 30. – С. 50-57.
16. Захарченко А.В. Топографическая и физическая лужистость почвенных слоев / А.В. Захарченко, И.Н. Росновский, Д.А. Ивлев // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – 300 (II). – С. 153–159.
17. Козлов Д.Н. Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии / Д.Н. Козлов, Н.П. Сорокина // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. – М.: Из-во Почвеного ин-та им.В.В. Докучаева, 2012. – С. 53-57.
18. Корнблум Э.А., Михайлов И.С., Ногина Н.А., Таргульян В.О. Базовые шкалы свойств морфологических элементов почв. Методическое руководство по описанию почв в поле / Ред. М.А. Глазовская, Э.А. Корнблум. М.: Всес. Акад. с.-х. наук им. В.И.Ленина, Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, Всесоюз. об-во почвов. АН СССР, 1982. 56 с.
19. Корнблум Э.А. Основные уровни морфологической организации почвенной массы / Э.А. Корнблум // Почвоведение.- 1975.- № 9. – С. 36-38.
20. Медведев В.В. Твердость почвы / В.В. Медведев. – Харьков: Изд-во КП «Городская типография», 2009. – 152 с.
21. Медведев В.В. Неоднородность как закономерное проявление горизонтальной структуры почвенного покрова / В.В. Медведев // Грунтознавство. – 2010. – Т. 11, № 1–2. – С. 6–15.
22. Миньковский Г.М. Структурный подход в почвоведении / Г.М. Миньковский // Почвоведение. –1995. – №7. – С. 9-18.
23. Пространственная экология и рекультивация земель / [Демидов А.А., Кобец А.С., Грицан Ю.И., Жуков А.В.]. – Днепропетровск: Изд-во «Свидлер А.Л.», 2013. – 560 с.
24. Розанов Б.Г. Морфология почв: Учебник для высшей школы / Б.Г. Розанов. Москва: "Академический проект", 2004. – 431 с.
25. Яковенко В.М. Мікрморфологічна діагностика чорноземів Присамар'я Дніпровського / В.М. Яковенко // Грунтознавство, 2008. – Т. 9, № 3–4. – С. 119-127.
26. Bathke G. R. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat / G. R.

- Bathke, D. K. Cassel, W. L. Hargrove, P. M. Porter // *Soil Science*. – 1992. – Vol. 154. – P. 316–328.
27. Cambardella C. A. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils / C. A. Cambardella, T. B. Moorman, J. M. Novak, Parkin, et al. // *Soil Science Soc. Am.* – 1994. – Vol. 58. – P. 1501–1511
28. Faehner T. Prediction of Yield Response to Soil Remediation / T. Faehner, M.J. Pyrcz, C.V. Deutsch // *Geoderma*. – 2000. – Vol. 97. P. 21–38.
- References:**
1. Andrusevich E.V. Ekologicheskoe prostranstvo zhyvotnogo naseleniya derno-litogennykh pochv na krasno-burykh glinah / E.V. Andrusevich // *Gruntoznavstvo*. – Dnepropetrovsk, 2014. – T. 15, № 1–2. – S. 120–134.
 2. Bondar G.A. Ekologicheskaya struktura rastitelnogo pokrova, sformirovannogo v rezultate samozarastaniya derno-litogennykh pochv na lessovidnykh suglinkakh / G.A. Bondar, A.V. Zhukov // *VIsnik DnIpropetrovskogo derzhavnogo agrarnogo unIversitetu*. – 2011. – № 1. – S. 54–62.
 3. Voronin A. D. Strukturno-funktsionalnaya gidrofizika pochv / A.D. Voronin. M.: Id-vo MGU, 1984. – 204 s.
 4. Dmitriev E.A. Teoreticheskie i metodologicheskie problemy pochvovedeniya / E.A. Dmitriev. – M.: GEOS, 2001. – 374 s.
 5. Eterevska L. V. Rekultivovani grunti: pidhodi do klasyfikatsii i sistematiki / L. V. Eterevska, G. F. Momot, L. V. Lehtsier // *Gruntoznavstvo: naukoviy zhurnal*. – 2008. – T. 9, № 3. – S. 147 – 150.
 6. Zhukov A.V. Agregatnaya struktura tehnoremov Nikopolskogo margantsevo-rudnogo baseyna / O.V. Zhukov, G.A. Zadorozhnaya, I.V. Lyadska // *Biologicheskii vestnik Melitopolskogo gosudarstvennogo universiteta im. Bogdana Hmel'nitskogo*. – 2013. – T. 3, № 3. – S. 274–286.
 7. Zhukov A.V. Ekologicheskoe znachenie prostranstvennoy izmenchivosti tvYordosti pochvy v usloviyakh prirodnoho zemledeliya / A.V. Zhukov, G.A. Zadorozhnaya, A.A. Demidov, E.V. Rysinina // *Zbirnik naukovih prats Umanskogo natsIonalnogo unIversitetu sadIvnitstva*. – Uman, 2014. – vip. 84. – S. 21–37
 8. Zhukov A.V. Prostranstvennaya izmenchivost tverdosti pedozemov / A. V. Zhukov, G. A. Zadorozhnaya // *BIologIchniy vIsnik MDPU Im. B. Hmel'nitskogo* – 2013. – № 1(7). – S. 34–49.
 9. Zhukov O.V. Fizyichni vlastivosti rekultozemiv Nikopolskogo margantsevorudnogo baseynu / O.V. Zhukov, G.O. Zadorozhna, I. V. Lyadska // *Pitannya stepovogo lisoznavstva ta lisovoy rekultivatsii zemel*. – Dnepropetrovsk: Lira, 2014. – Vyip. 43. – S. 93-102.
 10. Zhukov A.V. Prostranstvennaya izmenchivost tverdosti pedozemov / A.V. Zhukov, G.A. Zadorozhnaya // *BIologIchniy vIsnik MDPU Im. B. Hmel'nitskogo* – 2013. – № 1(7). – S. 34–49.
 11. Zhukov A.V. Prostranstvennaya izmenchivost tverdosti tehnoremov / A.V. Zhukov, G.A. Zadorozhnaya // *Prirodno-tehnogennyie kompleksyi: rekultivatsiya i ustoychivoe funktsionirovanie: Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (10 – 15 iyunya 2013 g.) / Pod red. V.A. Androhanova (otv. red.) – Novosibirsk: izdatelstvo Okarina, 2013. – S. 104–107.*
 12. Zhukov A.V. Vliyanie edaficheskikh faktorov na obilie populyatsii mollyuskov Vallonia pulchella v derno-litogennykh pochvakh na krasno-burykh glinah / A. V. Zhukov, K. V. Andrusevich // *Zoocenosis–2013. Biorznomanittya ta rol tvarin v ekosistemah VII MIzhnarodna naukova konferentsiya. Ukraina, DnIpropetrovsk, DNU, 22–25.10.2013 r.* – S. 139–138.
 13. Zhukov O.V. Dynamika usadky derno-litohennykh hruntiv na chervono-burykh hlynakh za sharamy / O.V. Zhukov, H.O. Zadorozhna, T.Yu. Bets', I. V. Lyadska // *Naukovyy visnyk Chernivets'koho universytetu. Biolohiya (Biolohichni systemy)*, 2013. – T. 5. Vyp. 3. – S. 425–430.
 14. Zadorozhna G.O. Prostorova organizatsiya derno-litogennykh gruntiv na siro-zelenykh glyinah / G.O. Zadorozhna // *Biologichniy visnik MDPU im. B. Hmel'nitskogo* – 2012. – № 4. – S. 48–57.
 15. Zaharchenko A.B. Metod trehmernoy morfometrii pochv / A. V. Zaharchenko // *Vestnik TGU*, 2004. – № 30. – S. 50-57.
 16. Zaharchenko A.V. Topograficheskaya i fizicheskaya luzhistost pochvennykh sloev / A.V. Zaharchenko, I.N. Rosnovskiy, D.A. Ivlev // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2007. – 300 (II). – S. 153–159.
 17. Kozlov D.N. Traditsii i innovatsii v krupnomasshtabnoy pochvennoy kartografii / D.N. Kozlov, N.P. Sorokina // *Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimentalnyie issledovaniya*. – M.: Iz-vo Pochvennoho in-ta im.V.V. Dokuchaeva, 2012. – S. 53-57.
 18. Kornblyum E.A., Mihaylov I.S., Nogina N.A., Targulyan V.O. Bazovyye shkalyi svoystv morfologicheskikh elementov pochv. Metodicheskoe rukovodstvo po opisaniyu pochv v pole / Red. M.A. Glazovskaya, E.A. Kornblyum. M.: Vses. Akad. s.-h. nauk im. V.I.Lenina, Pochvenniy in-t im. V.V. Dokuchaeva, Vsesoyuz. ob-vo pochvov. AN SSSR, 1982. 56 s.
 19. Kornblyum E.A. Osnovnyie urovni morfologicheskoy organizatsii pochvennoy massyi / E.A. Kornblyum // *Pochvovedenie*.- 1975.- № 9. – S. 36 -38.
 20. Medvedev V.V. Tverdost pochvy / V.V. Medvedev. – Harkov: Izd-vo KP «Gorodskaya tipografiya», 2009. – 152 s.
 21. Medvedev V.V. Neodnorodnost kak zakonomernoe proyavlenie gorizontальной strukturyi pochvennogo pokrova / V.V. Medvedev // *Gruntoznavstvo..* – 2010. – T. 11, № 1–2. – S. 6–15.
 22. Minkovskiy G.M. Strukturnyy podhod v pochvovedenii / G.M. Minkovskiy // *Pochvovedenie*. – 1995. № 7. – S. 9-18.
 23. Prostranstvennaya ekologiya i rekultivatsiya zemel / [Demidov A.A., Kobets A.S., Gritsan Yu.I., Zhukov A.V.]. – Dnepropetrovsk: Izd-vo «Svidler A.L.», 2013. – 560 s.
 24. Rozanov B.G. Morfologiya pochv: Uchebnik dlya vysshney shkolyi / B.G. Rozanov. Moskva: "Akademicheskii proekt", 2004. – 431 s.

25. Yakovenko V.M. Mikromorfologichna diagnostika chornozemiv Prissamarya Dniprovskogo / V.M. Yakovenko // Gruntoznavstvo, 2008. – T. 9, № 3–4. – S. 119-127.
26. Bathke G. R. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat / G. R. Bathke, D. K. Cassel, W. L. Hargrove, P. M. Porter // Soil Science. – 1992. – Vol. 154. – P. 316–328.
27. Cambardella C. A. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils / C. A. Cambardella, T. B. Moorman, J. M. Novak, Parkin, et al. // Soil Science Soc. Am. – 1994. – Vol. 58. – P. 1501–1511
28. Faechner T. Prediction of Yield Response to Soil Remediation / T. Faechner, M.J. Pyrcz, C.V. Deutsch // Geoderma. – 2000. – Vol. 97. P. 21–38.

SPATIO-TEMPORAL CHANGES OF THE RECULTIVATED SOIL PENETRATION RESISTANCE OF NIKOPOL MANGANESE MINING BASIN

A.V. Zukov, G.A. Zadorojhnaya

Various ways of allocation of elements of the structural organisation of soil at subprofile and soil-cover levels, and also distinctions in a choice of criteria of carrying out of borders in soil space define a problem of joining of the higher and lowest levels of the soil organisation as natural body. The work aim is to investigate the existence of over horizon soil morphological structures in technozems on the basis of studying of soil penetration resistance dynamics of soil penetration resistance sod litogenyc soils on grey-green clays of the Nikopol manganese mining basin. Material gathering was spent in the spring 2012 and 2013 on a Nikopol manganese mining basin recultivation site in Ordzhoniukodze. As object of studying the sod litogenyc soils on grey-green clays have been chosen. Measurement of soil penetration resistance have been made in field conditions by means of manual penetrometr Eijkelkamp on depth to 50 sm to an interval 5 sm. The descriptive statistics of data of soil penetration resistance sod litogenyc soils on grey-green clays reveal the general regularity which have been found out during researches both in 2012, and in 2013. Average values of soil penetration resistance and value of a confidential interval naturally increase with depth. The greatest values of factor of a variation of a studied sign are observed in the top layers of earth (0-15 sm from a surface) where variability of an indicator exceeds 53 %. The soil of more homogeneous becomes deeper on a profile, the variation factor decreases to 25-35 %. The indicators of soil penetration resistance received in 2013, show high spatial dependence in top (0-15 sm from a surface) and bottom (35-50 sm from a surface) layers of the studied thickness of soil. Level-by-level two-dimensional mapping has allowed to show a specific combination of areas of the raised soil penetration resistance, forming oval over horizon formations which penetrate the investigated layers. Their form changes with depth: the linear sizes grow downwards on a profile that corresponds to value of radius of influence increasing with depth. On the basis of level-by-level mapping of spatial distribution of soil penetration resistance of the studied soil are revealed over horizon morphological formations which possess own sizes, by the form. The configuration of the revealed morphological elements of blankets of the studied soil is in direct dependence on a profile structure last year. Positive correlation reveals of a structure testifies to it top (0-5, 5-10, 15-20 sm deep into from a surface) layers of earth with the structure of a profile revealed in previous year, at $P < 0,05$. The arrangement of morphological elements in a soil layer at level of 30-40 sm from a surface is formed under steady influence of negative feedback with the structure of the given soil layer revealed in previous year, and the layers located more low ($P < 0,05$). Discovered objects may be considered as elements of spatial heterogeneity as they differ by criterion of soil penetration resistance from adjacent parts of a soil body. The found morphological objects are separated from adjacent soil space by gradient margin which concern most "natural" as their position in soil space least depends on positions and point of view of the researcher. The last allows to draw a conclusion, that the found out morphological formations are natural elements of the organisation of soil as natural body.

Keywords: soil penetration resistance of soil, spatial heterogeneity, a soil structure, morphological elements.

Одержано редколегією 04.10.2015