



Г. О. Задорожна

**ПРОСТОРОВА ОРГАНІЗАЦІЯ ДЕРНОВО-ЛИТОГЕННИХ ҐРУНТІВ
НА СІРО-ЗЕЛЕНИХ ГЛИНАХ***Дніпропетровський державний аграрний університет*

Геостатистичний аналіз твердості ґрунту дозволив встановити три кластери педонів, які складають просторову організацію дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах. Для кластерів *A* і *B* характерна наявність локальних максимумів твердості ґрунту в середніх горизонтах. Для кластера *A* локальний максимум спостерігається в горизонтах 15–30 см, а для кластера *B* – в горизонтах 25–30 см. Для кластера *C* максимум досягається на глибині 30–35 см і при подальшому збільшенні глибини практично не змінюється. Педони типу *C* займають ареали округло-амебовидної форми, які дистанційовані друг від друга. Педони типу *B* по своїх характеристиках є перехідною формою від *A* к *C* і представлені меншою кількістю ареалів, але форма їх подовжена й займає більшу площу, ніж педони інших типів. По формі педони типу *A* відповідають ареалам типу *C*, але займають набагато більшу площу.

Ключові слова: геостатичний аналіз, педони, просторова організація, Дніпропетровськ, Україна

Г. А. Задорожная

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕРНОВО-ЛИТОГЕННЫХ ПОЧВ
НА СЕРО-ЗЕЛЕННЫХ ГЛИНАХ***Днепропетровский государственный аграрный университет*

Геостатистический анализ твердости почвы позволил выделить три кластера педонов, которые составляют пространственную организацию дерново-литогенных почв на серо-зеленых глинах. Для кластеров *A* и *B* характерно наличие локальных максимумов твердости почвы в средних горизонтах. Для кластера *A* локальный максимум наблюдается в горизонте 15-30 см, а для кластера *B* – в горизонте 25-30 см. Для кластера *C* максимум достигается на глубине 30-35 см и при последующем увеличении глубины практически не изменяется. Педоны типа *C* занимают ареалы округло-амебовидной формы, которые дистанцированы друг от друга. Педоны типа *B* по своим характеристикам являются переходной формой от *A* к *C* и представлены меньшим количеством ареалов, но форма их продолжительна и занимает большую площадь, чем педоны других типов. По форме педоны типа *A* соответствуют ареалам типа *C*, но занимают гораздо большую площадь.

Ключевые слова: геостатический анализ, педоны, пространственная организация, Днепропетровск, Украина.

G. O. Zadorozhna

**THE SPATIAL ORGANIZATION OF SODDY-LITHOGENIC SOILS
ON THE GREY-GREEN CLAYS***Dnepropetrovsk State Agrarian University*

On geostatistical analysis of soil penetration resistance some the three types of pedons were determined which constitute the spatial organization of the soddy-lithogenic soils on gray-green clay. Clusters *A* and *B* are characterized by presence of local maxima of soil penetration resistance in middle soil horizons. For cluster *A* the local maximum is observed in the horizon of 15-30 cm, and for cluster *B* – in horizon of 25-30 cm. For cluster *C* the maximum is reached at the depth of 30-35 cm and it is never changed with the subsequent increase of depth. Pedons of type *C* occupy the areas with round-amoeboid forms which distanced from each other. Pedons of type *B* according to their

characteristics are transitional forms from A to C. They have fewer areas, but their shape is long and covers larger area than other types of pedons. According to the shape the A pedons correspond to the areals of type C, but occupy much larger area.

Key words: geostatistical analysis, pedons, spatial organization. Dnepropetrovsk, Ukraine.

На сучасному етапі розвитку вчення про структуру ґрунтового покриву багато уваги приділяють дослідженню закономірної зміни властивостей ґрунту у горизонтальному напрямку. Розуміння неоднорідності відокремлюють від традиційного погляду на неоднорідність, як наслідок формування зональних типів ґрунтів. Предметом досліджень є неоднорідність властивостей ґрунтів, яка сформувалась під дією ідентичних факторів ґрунтоутворення та виявляється лише за допомогою методів імовірнісної статистики (Медведев, 2010). Найбільш цікавими, як с теоретичної, так і с практичної точки зору, є дослідження рекультиваційних земель, що утворені в результаті трансформації природних ландшафтів при видобутку корисних копалин відкритим або шахтним способом. На таких землях можна спостерігати процеси ґрунтоутворення в їх первозданному вигляді на різних материнських породах, які виносяться на поверхню у технологічному процесі горно-рудної промисловості (Узбек, Кобец, Волох, 2010). Педоном (ґрунтовим індивідуумом) називається реально існуючий природний найменший обсяг ґрунту, досить протяжний, щоб виявити всі ґрунтові горизонти та їх співвідношення. Межі педону при цьому не залежать від таксономічної схеми, їх визначення виходить з ритмічності просторового варіювання властивостей ґрунту (Simonson, Gardner, 1960). Ряд однакових ґрунтових індивідуумів в своєму спільному простяганні за площею дають елементарний ґрунтовий ареал (поліпедон) (Фридланд, 1972). При аналізі структури ґрунтового покриву однією з невирішених задач є визначення його природних елементів, тобто площі і меж педонів та поліпедонів. Бічні межі ґрунтового тіла дифузні, мають деякі межі невизначеності і важко виділяються в натурі. Завдання визначення ґрунтового індивідуума зводиться до відшукування меж ґрунтової неоднорідності і тих ґрунтових властивостей, які дозволяють говорити про самостійне природне тіло, відмінне від оточуючих тіл.

Як індикатор властивості ґрунту безсумнівно перевагу має показник її твердості. До таких переваг слід віднести високу інформативність та продуктивність, відносну простоту та високу точність виміру. Твердість - незамінний показник для оцінювання умов проростання насіння та їх розвитку на перших етапах онтогенезу, у тому числі оцінювання здатності кореневих волосків освоювати не тільки між-, але і внутріагрегатний простір. Тобто, показник твердості здатний оцінити не тільки міцність грудки, але і якість складання, причому таку оцінку практично не можна отримати, використовуючи традиційний показник щільності складання (Медведев, 2009).

Виходячі з вищесказаного, метою нашого дослідження є визначити просторову організацію дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах, які штучно створені в процесі рекультивації порушених земель, встановити закономірності полупедонної структури за даними твердості ґрунту.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Роботи проведені на науково-дослідному стаціонарі Дніпропетровського державного аграрного університету в м. Орджонікідзе. Відбір проб зроблений на варіанті техноземів, сформованих на сіро-зелених глинах (географічні координати південно-західного кута полігона – 47°38'55.24"С. Ш., 34°08'33.30"В. Д.).

Полігон представлений 8 трансектами, кожна з яких складається з 20 пунктів відбору проб. Трансекти розташовані в напрямку із заходу на схід з інтервалом 1,5 м між сусідніми трансектами. Пункти відбору проб також перебувають із інтервалом 1,5 м. Таким чином, експериментальний полігон являє собою регулярну сітку із шириною комірки 1,5 м. Довжина більшої сторони полігона дорівнює 28,5 м, меншої – 10,5 м.

Вимірювання твердості ґрунтів здійснене у польових умовах за допомогою ручного пенетрометра *Eijkelkamp* на глибину до 50 см з інтервалом 5 см. Середня погрішність результатів вимірів приладу становить $\pm 8\%$. Виміри зроблені конусом з розміром поперечного перерізу 1 см². У межах кожної комірки вимірювання твердості ґрунту зроблене в однократній повторності. Виміри проведені у червні 2010 р. Статистичні розрахунки проведені за допомогою програми Statistica 7.0, обчислення ландшафтних показників конфігурації педонів виконано за допомогою програми FRAGSTATS 3.3 (McGarigal, Cushman, Neel, & Ene, 2002).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.

Кожна точка на поверхні ґрунту може бути охарактеризована вектором даних, що описують твердість ґрунту на різних глибинах нижче цієї точки. На підставі цих векторів може бути проведений кластерний аналіз (рис. 1). Кластерний аналіз - це багатовимірний статистичний метод, що виконує збір даних, які містять інформацію про вибірку об'єктів, і потім впорядковує об'єкти в порівняно однорідні групи (кластери). Кластер - група елементів, які характеризуються загальною властивістю, головна мета кластерного аналізу - знаходження груп схожих об'єктів у вибірці.

При проведенні нами кластерного аналізу був використаний метод Варда й коефіцієнт кореляції Пірсона. Коефіцієнт кореляції Пірсона як міра зв'язку дуже чутливий до форми мінливості ознаки, а не його абсолютного значення. Тому він кращий для порівняння об'єктів часової або просторової динаміки. Таким чином, результати кластерного аналізу дозволили виділити групи ґрунтових профілів з однотипною зміною твердості. Можна виділити три основних групи (кластерів) ґрунтових профілів – *A, B, C*.

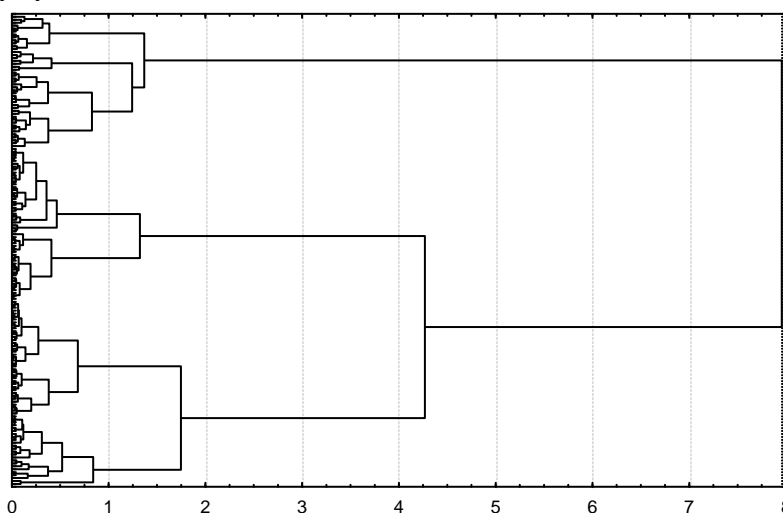


Рис. 1. Ієрархічна дендрограма зразків по даних твердості дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах (метод Варда, коефіцієнт кореляції Пірсона)

Усереднені профілі, характерні для кожного кластера, представлені на рисунку 2. Для кластерів *A* і *B* характерна наявність локальних максимумів твердості ґрунту в середніх горизонтах. Для кластера *A* локальний максимум спостерігається в горизонтах 15–30 см, а для кластера *B* – в горизонтах 25–30 см. Для кластера *C* максимум досягається на глибині 30–35 см і при подальшому збільшенні глибини практично не змінюється.

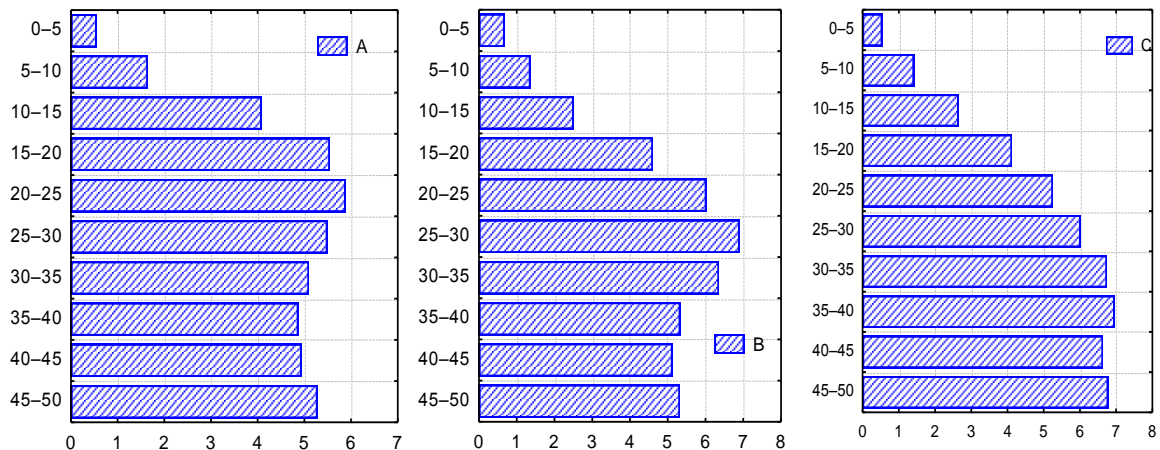


Рис. 2. Зміни твердості дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах (в МПа) в залежності від глибини для кластерів *A*, *B* і *C*

Дискримінантний аналіз дозволив встановити, що показники твердості чітко диференціюють виділені кластери. Взаємне відношення між кластерами може бути встановлене за допомогою дистанції Махаланобиса між центроїдами кластерів, яка обчислена в результаті дискримінантного аналізу (табл. 1).

Наведені в таблиці дані свідчать про те, що кластери *B* і *C* за властивостями твердості найближчі між собою, тоді як кластер *A* значно відрізняється від кластера *C* і в меншій мірі – від кластера *B*. Таким чином, найбільш відмінні за властивостями твердості кластери *A* і *C*, а кластер *B* є перехідним між ними. Кластери, як відносно однорідні за властивостями утворення, можна ідентифікувати як педони.

Таблиця 1

Відстань Махаланобиса між центроїдами кластерів дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах (верхня напівматриця) і *p*-рівні значимості розбіжностей (нижня напівматриця) по даним дискримінантного аналізу

Кластер	A	B	C
A		13.81	32.33
B	0.00		9.55
C	0.00	0.00	

Відстані Махаланобиса від кожного пункту відбору проб до центроїдів кластерів можна використовувати для побудови карти розташування кластерів у двовимірному просторі, що дозволяє бачити педони в просторі, їх характерні ареали, форму і розмір (рис. 2).

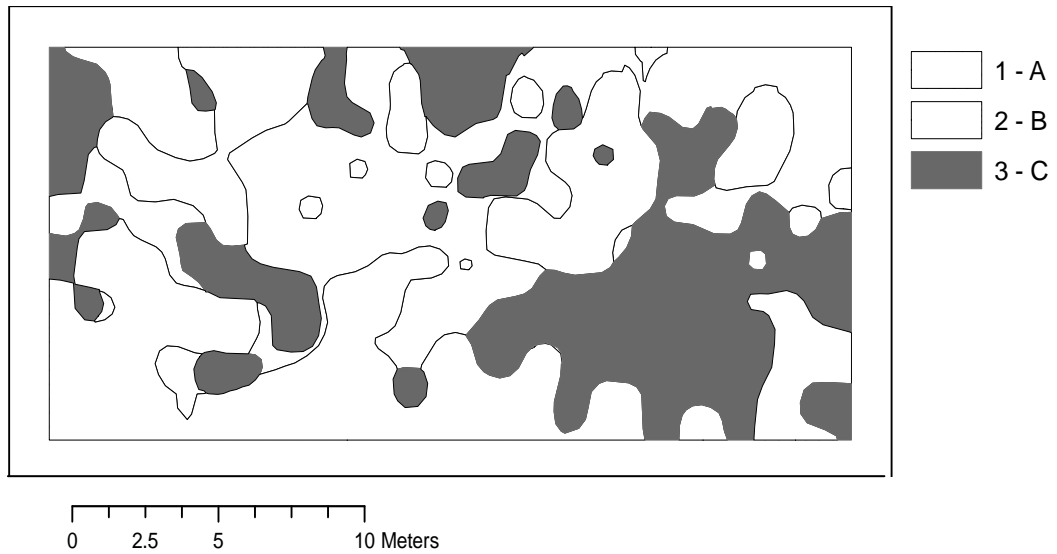


Рис. 2. Педони дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах

Для аналітичного описання просторової структури ареалів педонів нами вперше запропоновано використовувати ландшафтні показники: площа і кількість педонів, які входять до кластеру, радіус обертання, індекси форми, проксимальності, контрастно-зваженої щільності меж, індекс зв'язності (табл. 2).

Як видно з даних, представлених у таблиці, найбільшу площу займають педони типу *A* (40,07 %), педони *B* і *C* займають приблизно рівні ділянки (29,31 і 30,62 % відповідно). Педонів типу *A* налічується на досліджуваній ділянці 15 шт, типу *B* – 7 і типу *C* – 14. Середня площа педону *C* – найменша (9 м²), а педону *B* – найбільша (17 м²). Радіус обертання – це метрика, яка описує протяжність ареалу педону. Чим більший ареал, тим більший радіус обертання. Для фіксованої площі, екстенсивніший ареал (більш протяжний і менш компактний) буде характеризуватися великим значенням радіусу обертання. Радіус обертання вказує на більшу довжину педонів типу *B* у порівнянні з іншими. Найкомпактнішими будуть педони, що належать до кластеру *C* (Gustafson & Parker, 1994).

Таблиця 2

Ландшафтні показники кластерів дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах

Показник	Кластери (групи педонів)					
	А		В		С	
	Середнє	CV, %	Середнє	CV, %	Середнє	CV, %
Площа, %	40,07	-	29,31	-	30,62	-
Число педонів	15,00	-	7,00	-	14,00	-
Середня площа педону, м ²	11,00	195,36	17,00	188,47	9,00	201,54
Радіус обертання (GYRATE)	1,13	123,41	1,61	131,52	1,02	84,66
Індекс форми (SHAPE)	1,40	33,47	1,98	58,36	1,38	25,90

Індекс проксимальності	88,99	157,55	99,06	125,73	19,91	59,57
Контрастно-зважена щільність границь (CWED)	0,32	-	0,32	-	0,42	-
Індекс зв'язності (CONNECT)	61,54	-	61,91	-	67,62	-

Індекс форми базується на співвідношенні між периметром і площею ареалу педону. Мінімальне значення цієї міри дорівнює одиниці. Це значення міра приймає у тому випадку, коли ареал є максимально компактним, або вся територія зайнята одним типом ареалу. Індекс збільшується при відхиленні форми ареалу від форми кола. За цією ознакою, найбільшою мірою відмінна від форми кола форма педонів типу *B* (табл. 2). У педонів типу *A* і *C* індекс форми майже однаковий, що говорить про однотипність форми ареалів педонів цих кластерів (Gustafson & Parker, 1994).

Індекс проксимальності – це ландшафтна характеристика, яка характеризує розміри і ступінь близькості всіх ареалів, межі яких знаходяться у діапазоні деякої заданої відстані від фокального ареалу. Індекс проксимальності кількісно оцінює просторовий контекст ареалів у відношенні розташування ареалів того ж типу. Зокрема, індекс може диференціювати дифузне розташування малих за розміром ареалів від кластерної конфігурації. За інших рівних умов, якщо на заданій відстані від даного типу ареалу знаходиться більша кількість сусідів того ж типу, то індекс буде більшим. Також, якщо ареали того ж типу в межах заданої відстані знаходяться ближче до фокального ареалу, то індекс буде більшим. Таким чином, індекс проксимальності збільшується при зростанні кількості однотипних сусідів та їх наближеності (Gustafson & Parker, 1994).

Найбільшим індексом проксимальності для дистанції 10 м у нашому дослідженні характеризується кластер *B*, меншим – кластер *A* та мінімальним – кластер *C*.

У межах кластера індекси проксимальності кожного педону характеризуються сильною мінливістю, тому більш наочно представити їх розподіл у логарифмічному масштабі (рис. 4).

Розподіл значень індексу проксимальності, наведений на рисунку, не є нормальним та характеризується значною асиметрією. З приведених даних можна казати, що для педонів типу *C* характерно віддалення від педонів того ж типу. Для педонів типів *A* і *B* спостерігається тенденція до скупчення однотипних педонів, а деякі з них формують угруповання педонів.

За індексом зв'язності значних розходжень між педонами не спостерігається.

Контрастно-зважена щільність меж (CWED – Contrast-Weighted Edge Density) дорівнює сумі довжини кордонів ареалу (в м), помножену на відповідну вагу контрастності і поділену на сумарну площу ареалу (в м²). Індекс дорівнює нулю, якщо в межах досліджуваної території немає контрастних меж, тобто вся територія представлена одним типом ареалу. Індекс збільшується при зростанні довжини контрастних кордонів.

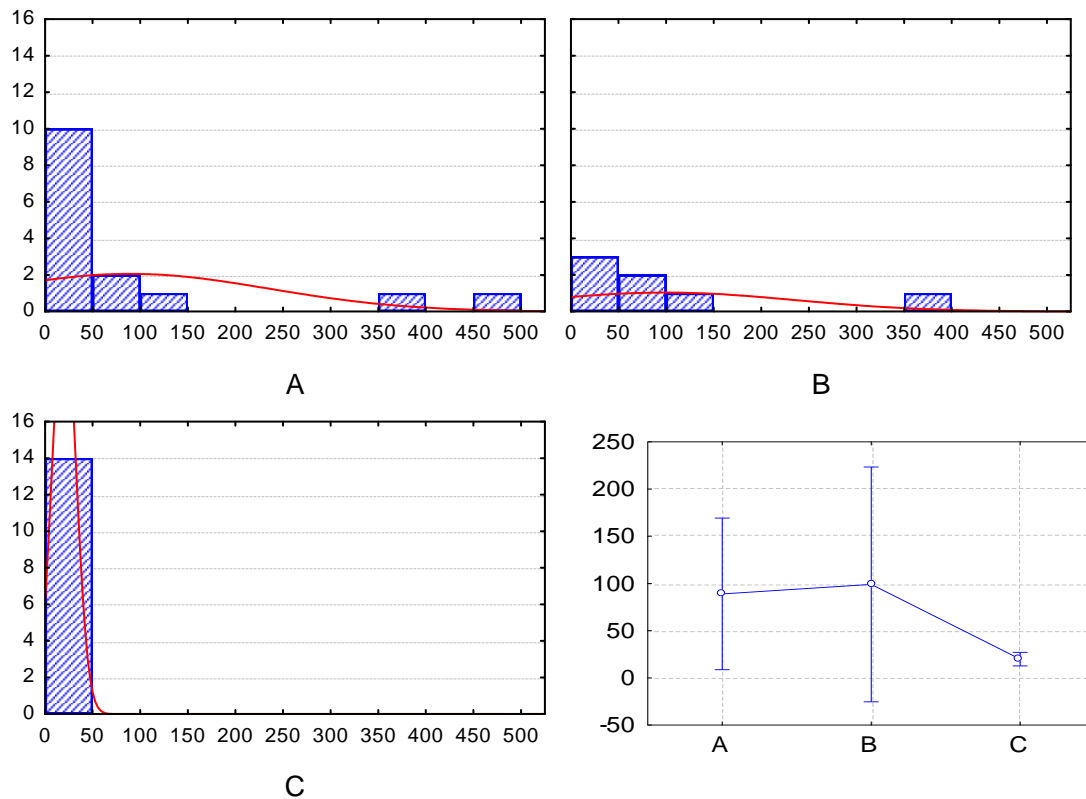


Рис. 3. Розподіл індексу проксимальності кластерів дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах (у логарифмічному масштабі)

Ступінь контрастності характеризується відповідною вагою (0 – немає контрасту; 1 – найбільший контраст). Найбільшим індексом контрастності меж у нашому дослідженні характеризуються педони типу *C*, що знаходиться у відповідності з отриманими значеннями індексу проксимальності і підтверджує наше припущення про розташування педонів кластеру *C*, як відокремленого анклаву з яскраво-вираженими індивідуальними особливостями (Gustafson & Parker, 1994).

Аналіз просторового розташування кластерів розкриває істотну мозаїчність ґрунтового покриву й складний і динамічний характер взаємозв'язку між різними педонами. Три групи педонів займають ареали, форма яких і взаємне розташування не є випадковими. Педони типу *C* являють собою стійку конфігурацію розподілу твердості ґрунту з тенденцією збільшення твердості із глибиною. Педони цього типу займають ареали округло-амебовидної форми, які дистанційовані друг від друга. Педони типу *B* по своїх характеристиках є перехідною формою від *A* к *C* і представлені меншою кількістю ареалів, але форма їх подовжена й займає більшу площу, ніж педони інших типів. По формі педони типу *A* відповідають ареалам типу *C*, однак, на відміну від останніх, займають набагато більшу площу.

Отримані нами численні геостатистичні оцінки неоднорідності дозволяють з'ясувати деякі закономірності її прояви в досліджених об'єктах. Існування

неоднорідності в межах малих ареалів є доказом існування складних зв'язків між властивостями ґрунтів та умовами середовища (Михеева, 2005), різноспрямованої дії факторів ґрунтоутворення і особливо складних і суперечливих зв'язків рослинності, ґрунту і клімату (Карпачевский, 2001). Вважається, що основним природним фактором диференціації ґрунтового покриву є рельєф і пов'язаний з ним перерозподіл вологи і різноманітних сполук в просторі поля з підвищених елементів в знижені, або під дією сили тяжіння. Рельєф активно коригує ґрунтоутворювальний процес, посилюючи його просторову неоднорідність. Залежно від різних умов рельєфу (точніше, мезорельєфу) і в відповідності з цим різному зволоженню окремих ділянок розвиваються залежні від останнього процеси ущільнення і розущільнення, через що змінюється повітряний і мікробіологічний режими і в цілому формується неоднорідність.

Для оцінки ґрунту в міцності використовують показники зсуву, тертя, внутрішнього зчеплення та інші. Твердість у цьому ряду займає особливе місце. Якщо як наконечник твердомеру використовувати клин, конус, диск та інші, то можна визначити опір ґрунту розклинюванню, стиснення, руйнування та різноманітні сумарні різновиди опорів. Інакше кажучи, отримати майже адекватне уявлення про те, які зусилля потрібно затратити кореню рослини, або робочому органу ґрунтообробного знаряддя, для того щоб подолати опір ґрунту і, врешті-решт, забезпечити успішне її освоєння в першому випадку, і ретельне оброблення - у другому.

З проведених раніше досліджень (Бондарь, Жуков, 2011) відомо, що зміни показників твердості ґрунтів достовірно корелюють з такими показниками як проективне покриття, фітомаса, агрегатний склад верхнього шару ґрунту і його електропровідність. Автори згаданої роботи стверджують, що твердість ґрунту є лімітуючим фактором для рослинного покриву. Глибина виникнення граничної твердості ґрунту приймає участь у формуванні ділянки екологічного простору з найбільшими продукційними характеристиками, а наближення порогової твердості до поверхні ґрунту пов'язане зі збільшенням видового багатства досліджуваного рослинного угруповання.

ВИСНОВКИ

1. Твердість є показником, який дозволяє встановити межі неоднорідності ґрунту та відокремити ґрунтовий індивідуум (педон), відмінний від оточуючих тіл, за ритмічністю просторового варіювання даного показника.

2. Результати кластерного аналізу дозволили виділити три кластери: *A*, *B*, *C*. У просторі кожен кластер представлений деякою кількістю чітко відокремлених утворень, однорідних за властивостями твердості. Ці утворення можна ідентифікувати як педони.

3. Встановлено, що педони кластеру *C* займають ареали округло-амебоподібної форми, які дистанціровані друг від друга і являють собою стійку конфігурацію розподілу твердості ґрунту з тенденцією збільшення твердості із глибиною. Форма педонів кластеру *A* відповідає формі педонів типу *C*, однак, на відміну від останніх, займають набагато більшу площу. За своїми характеристиками педони типу *B* є перехідною формою від *A* до *C*.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Медведев, В. В. (2010). Неоднородность как закономерное проявление горизонтальной структуры почвенного покрова. *Грунтознавство*, 11(1–2), 6–15.



- Узбек, И.Х. (ред.) *Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем: Монография.* Днепропетровск: Пороги.
- Simonson, R. W., & Gardner, D. R. (1960). Concept and functions of the pedon. *Trans. Intern. Congr. Soil Sci. 7th Congr. Madison, 4*, 127–131.
- Фридланд, В. М. (1972). *Структура почвенного покрова.* Москва: Мысль.
- Медведев, В. В. (2009). *Твердость почв.* Харьков: Изд. КГІ Городская типография.
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C. & Ene, E. (2002). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps.* Retrieved from <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Gustafson, E. J., Parker, G. R. (1994). Using an index of habitat patch proximity for landscape design. *Landscape and Urban Planning, 29*, 117–30.
- Михеева, И. В. (2005). Пространственные флуктуации и вероятностно-статистические распределения свойств каштановых почв Кулундинской степи. *Почвоведение, 3*, 316-327.
- Карпачевский, Л. О. (2001). Некоторые методические аспекты учета пространственной неоднородности в почвоведении. В книге *Масштабные эффекты при исследовании почв.* Москва: Изд-во МГУ.
- Бондарь, Г. О., Жуков, А. В. (2011). Экологическая структура растительного покрова, сформированного в результате самозарастания на дерново-литогенных почвах на лёсовидных суглинках. *Вісник ДДАУ, 1*, 54-62.

REFERENCES

- Medvedev, V.V. (2010). Non-uniformity as consistent pattern of horizontal structure of soil continuum. *Soil Sciences, 11*(1–2), 6-15. [in Russian]

- Uzbek, I.X., Kobets, A.S., ...Volokh, P.V. (2010). *Recultivation of disturbed lands as sustainable development of complex technological ecosystems*. Denpropetrovsk: Porogi. [in Russian]
- Simonson, R.W., & Gardner, D.R. (1960). Concept and functions of the pedon. *Trans. Intern. Congr. Soil Sci. 7th Congr. Madison, 4*, 127–131.
- Фридланд, В.М. (1972). *Soil structure*. Moscow: Mysl. [in Russian]
- Medvedev, V.V. (2009). *Soil penetration*. Kharkov: Gorodskaiia tipografia. [in Russian]
- McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C. & Ene, E. (2002). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. Retrieved from: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Gustafson, E.J., & Parker, G.R. (1994). Using an index of habitat patch proximity for landscape design. *Landscape and Urban Planning*, 29, 117–30.
- Mikheyeva, I.V. (2005). Spatial fluctuations and stochastic distributions of chestnut soil features in Kulundinskaia steppe. *Soil Sciences*, 3, 316-327. [in Russian]
- Karpachevskiy, L.O. (2001). Some methodological patterns of spatial non-uniformity registration in soil sciences. *Soil research scale effects*, 39-46. [in Russian]
- Bondar, G.O., & Zhukov, A.V. (2011). Ecological structure of self-organized vegetation cover on soddy-lithogenic soils of loess loam. *Bulletin of Dnepropetrovsk State Agrarian University*, 1, 54-62. [in Russian]

© Г. О. Задорожна

© G. O. Zadorozhna

Надійшла до редколегії 20.01.12