

УДК 574.4:504.054

Т. М. Коновалова

Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара

ТРЕХМЕРНАЯ СТРУКТУРА ПОЧВЫ В ОБЛАСТИ ПОРОЯ СЛЕПЫША (*SPALAX MICROPHTHALMUS*)

Педотурбационная активность почвенных млекопитающих приводит к формированию сложно организованной пространственной структуры почвы, в которой сочетаются механически устойчивые конструкции с промежутками, занятыми менее плотной почвенной массой. Такая организация почвенного тела обладает выгодным сочетанием свойств твердой и менее твердой почвенных масс. Важной особенностью такой организации является длительный положительный эффект от педотурбационной активности млекопитающих для других компонентов экосистемы (почвенных беспозвоночных, микроорганизмов и растений).

Т. М. Коновалова

Дніпропетровський національний університет ім. Олеса Гончара

ТРИВИМІРНА СТРУКТУРА ҐРУНТУ В ОБЛАСТІ ПОРИЮ СЛПАКА (*SPALAX MICROPHTHALMUS*)

Педотурбаційна активність ґрунтових ссавців зумовлює формування складно організованої просторової структури ґрунту, в якій сполучаються механічно стійкі конструкції, проміжки між якими зайняті менш щільною ґрунтовою масою. Така організація ґрунтового тіла має вигідне сполучення властивостей твердої та менш твердої ґрунтових мас. Важлива особливість такої організації – тривалий позитивний ефект від педотурбаційної активності ссавців для інших компонентів екосистеми (ґрунтових безхребетних, мікроорганізмів і рослин).

Т. М. Konovalova

Oles' Honchar Dnipropetrovsk National University

3D SOIL STRUCTURE WITHIN THE MOUND OF MOLE RATS (*SPALAX MICROPHTHALMUS*)

The pedoturbation activity of the soil-dwelling mammals results in the complicated spatial soil structure with combined mechanically stable dense soil and the soil mass of low density. Such organization of the soil body has useful combination of the soil properties. The prolonged effect of the mammals' pedoturbation activity is positive for different constituents of an ecosystem: soil animals, microorganisms and plants.

Введение

Почва является трехмерным телом, свойства которого могут изменяться в пределах пространственных и временных масштабов в любом направлении [6]. Тем не менее, почвы обычно исследуются только в горизонтальном направлении, и если целью исследования является 3D характеристика пространственной изменчивости, то она описывается как совокупность горизонтальных слоев для различных глубин. Показана эффективность применения ГИС-технологий для изучения влияния почвороев на элек-

тропроводность почв [5]. Главный недостаток послойного *2D* представления состоит в том, что может появляться несоответствие между этими слоями, когда они размещаются один над другим [6]. Разработана методика трехмерной морфометрии почвы, которая состоит в фиксации поверхности почвы и границ горизонтов (педоморфологические поверхности) на последовательных вертикальных срезах, что позволяет фиксировать форму морфологических границ почвенных слоев [2]. Необходимо отметить, что эта методика, предназначенная для изучения свойств почвы в контексте водного режима, является очень трудоемкой и возможности ее применения для полевых исследований ограничены. Для реконструкции трехмерной структуры почвы на различных масштабных уровнях используется рентгеновская томография [7]. Однако существенная дороговизна является ограничением для применения методики.

Важным результатом педотурбационной активности слепышей является изменение физических свойств почвы [1]. Твердость почвы может быть надежным индикатором роющей активности слепышей. Цель данной работы – оценить возможность визуализации трехмерной структуры почвы в области педотурбационной активности слепышей по данным зондирования твердости почвы.

Материал и методы исследований

Для исследования выбран свежий порой в нижней трети склона северной экспозиции балки вблизи с. Любимовка (Днепропетровская область, 48°21'25.5" с. ш., 35°12'00.05" в. д.). Диаметр пороя – 70–80 см. Измерения проводили 25 сентября 2010 года. В области пороя заложен квадратный полигон со стороной 1,2 м. Измерения проводили в ячейках с шагом 0,1 м. Таким образом, полигон представлен 13 трансектами по 13 ячеек в каждой. Всего заложено 169 ячеек. Ячейка № 7 по осям абсцисс и ординат совпадает с центральной частью пороя. Измерения твердости проводили с помощью ручного пенетрометра Eijkelkamp на глубину 0,5 м от поверхности почвы с шагом 0,05 м. Таким образом, в каждой ячейке сделано 10 измерений твердости почвы. Средняя погрешность результатов измерений прибора составляет 8 %. Измерения проводили конусом, размер поперечного сечения которого равен 1 см². Твердость почвы в самом порое, которая находилась над горизонтальным уровнем почвенного покрова, не измерялась. Всего проделано 1 690 измерений твердости почвы, трехмерные координаты которых известны. Таким образом, объемная область почвы, в пределах которой произведены измерения твердости, имеет форму параллелепипеда размером 1,2 × 1,2 × 0,5 м.

Для проведения *3D* геостатистического анализа использовали программу S-GeMS (<http://sgems.sourceforge.net/>). *3D* вариограмма имеет наибольший диапазон (0,7 м), направленный вертикально, и два равных горизонтальных диапазона (по 0,4 м).

Результаты и их обсуждение

Статистические характеристики твердости почвы в области пороя слепыша представлены в таблице. В случае нормального распределения случайной величины лучшей оценкой математического ожидания является среднее арифметическое значение. При отклонении случайной величины от нормального закона медиана дает лучшую оценку математического ожидания. Как свидетельствуют полученные данные, нормальным законом может быть описано распределение твердости почвы в горизонтах 0–5 и 5–10 см. Более глубокие почвенные горизонты имеют твердость, распределение которой не может быть описано нормальным законом. Поэтому в таблице приведены данные как по средним значениям, так и по медиане.

Основной тенденцией изменения твердости почвы в области пороя является ее увеличение с глубиной. Твердость в верхних почвенных горизонтах находится на уровне 3,58 (горизонт 0–5 см) и 5,06 МПа (горизонт 5–10 см).

Таблица

Описательные статистики твердости почвы в области пороя

Горизонт, см	Среднее	Медиана	Ст. откл.	Асимметрия	Эксцесс	CV	<i>d</i>
0–5	3,58	3,60	1,55	0,12	-0,37	43,41	0,06*
5–10	5,06	5,20	2,29	-0,26	-0,85	45,28	0,07*
10–15	6,32	6,80	2,56	-0,44	-0,92	40,57	0,10
15–20	6,72	7,18	2,71	-0,38	-1,09	40,31	0,11
20–25	6,54	6,57	2,75	-0,17	-1,26	42,13	0,13
25–30	6,27	6,00	2,93	-0,07	-1,31	46,70	0,14
30–35	6,31	6,00	2,79	0,12	-1,33	44,27	0,20
35–40	6,41	6,00	2,81	0,08	-1,43	43,84	0,20
40–45	6,65	6,40	2,73	-0,02	-1,41	41,13	0,19
45–50	7,08	6,90	2,58	-0,23	-1,24	36,40	0,21

Примечания: *d* – статистика Колмогорова – Смирнова – соответствие распределения нормальному закону; * – $p < 0,05$.

Нормальный характер распределения величин позволяет применить для их сравнения *t*-критерий Стьюдента, в соответствии с которым твердость двух горизонтов статистически различна ($p < 0,001$). Наиболее характерные распределения значений твердости представлены на рисунке 1.

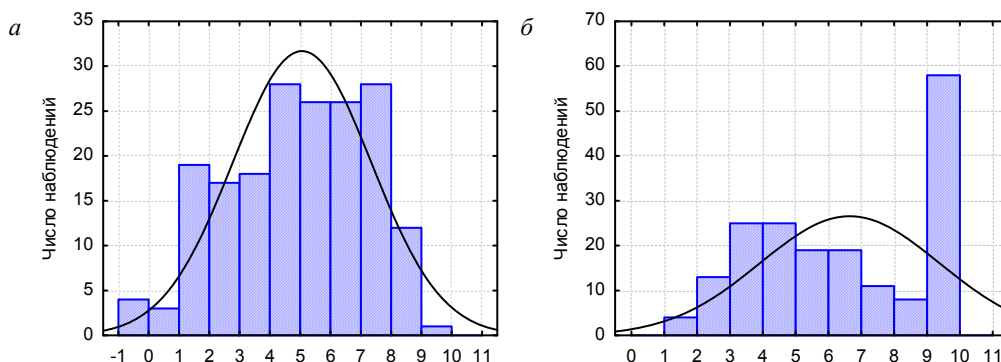


Рис. 1. Распределение показателей твердости почвы в области пороя:
а – на глубине 5–10 см, *б* – 40–45 см; по оси абсцисс – показатели твердости (МПа);
 линией показано гипотетическое нормальное распределение

Сравнение между собой показателей твердости для других горизонтов проведено с помощью непараметрического теста Вилкоксона. Установлены достоверные различия между горизонтами 5–10 и 10–15 см ($Z = 9,82$; $p < 0,001$), 10–15 и 15–20 см ($Z = 3,87$; $p < 0,001$). Необходимо отметить существование локального максимума на глубине 15–20 и 20–25 см, вследствие чего различия по твердости между этими горизонтами не достоверны ($Z = 1,20$; $p > 0,05$). Различия между соседними горизонтами 20–25 и 25–30 см не достоверны ($Z = 1,85$; $p > 0,05$). Локальный максимум на глубине 15–20 см достоверно превышает твердость на глубине 25–30 см ($Z = 2,04$; $p < 0,05$). В диапазоне от 25 до 45 см наблюдается локальный минимум твердости почвы.

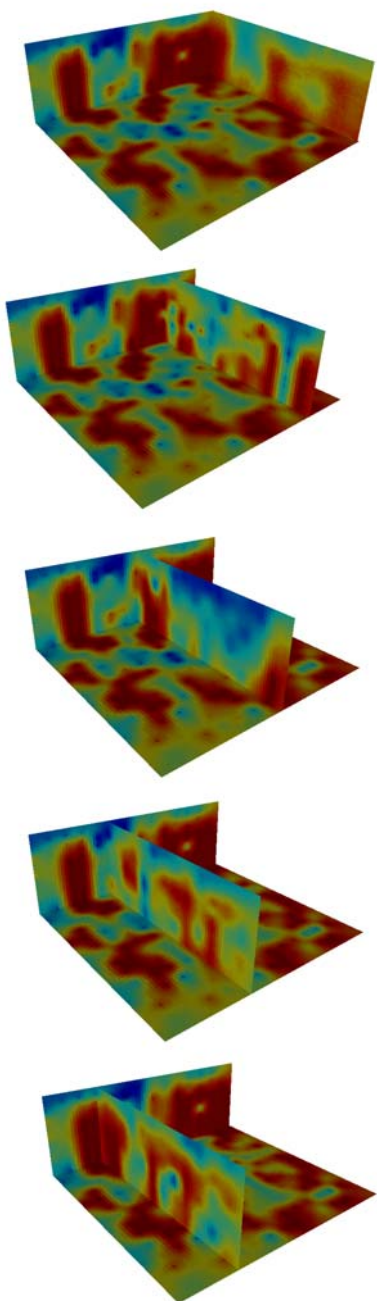


Рис. 2. 3D-карта изменения твердости почвы в районе отдельного пороя слепыша: размеры параллелепипеда – $120 \times 120 \times 50$ см; центроид пороя совпадает с центроидом модельного параллелепипеда

Попарное сравнение твердостей горизонтов в указанном диапазоне не выявляет достоверных различий между ними. Это свидетельствует о том, что при существенном градиенте глубины почвы не наблюдается значительных изменений твердости и по этому показателю почва является однородной. В наиболее глубоком из исследованных горизонтов (45–50 см) твердость почвы закономерно достигает максимального значения (7,08 МПа).

Представленные данные позволяют понять причину отклонения от нормального закона распределения значений твердости на глубине, которая превышает 10 см. По существу, значения твердости представляют собой смесь распределений. Для одного из распределений характерны модальные значения вблизи 10 МПа, то есть очень твердые почвы. Для другого распределения – модальное значение в диапазоне 3–4 МПа. Наиболее вероятно, что твердая почва составляет структурный остов, в пределах которого формируется пространство с почвенной массой значительно меньшей твердости, которая возникла как результат педотурбационной активности слепышей.

Локальный гомогенный минимум твердости в диапазоне 25–45 см вероятно имеет зоогенное происхождение. Статистические свойства могут обосновать достоверность существования визуальных свойств изучаемого явления (рис. 2). Трехмерная карта показывает упорядоченную организацию твердой и мягкой почвенной массы в области пороя. Твердая почва формирует ажурный остов, который обеспечивает механическую устойчивость распределения более мягкой почвенной массы.

Необходимо учитывать, что, помимо структурных характеристик, различия в твердости почвы имеют и функциональный аспект. Связь между твердостью почвы и другими важными ее характеристиками может быть описана рядом уравнений [4], но главная закономерность такова: твердость тем выше, чем меньше влажность и больше плотность сложения. Очевидно, что педотурбационная активность слепышей приводит к рыхлению почвы, в результате чего уменьшается твердость почвы и ее плотность сложения.

От плотности сложения зависит водный режим почвы [3]. Рыхлая почва лучше воспринимает влагу, но также быстро ее отдает, как и плотная. Впитывание влаги в рыхлую почву сопровождается

ее уплотнением и быстрым наступлением равновесного состояния. В рыхлой почве обычно больше глубина промачивания, а в плотной – меньше, но высока вероятность возникновения поверхностного и горизонтального внутрипочвенного стока.

Выводы

Педотурбационная активность почвенных млекопитающих приводит к формированию в почве сложно организованной пространственной структуры ажурного типа, в которой сочетаются механически устойчивые конструкции твердой почвы, промежутки между которыми заняты менее плотной почвенной массой. Такая организация почвенного тела приводит к выгодному сочетанию свойств твердой и менее твердой почвенных масс. Важной особенностью ажурной организации является длительный положительный эффект от педотурбационной активности млекопитающих для других компонентов экосистемы – почвенных беспозвоночных, микроорганизмов и растений.

Библиографические ссылки

1. Булахов В. Л. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Ссавці (Mammalia) / В. Л. Булахов, О. Є. Пахомов. – Д. : Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2006. – 356 с.
2. Захарченко А. В. Метод трехмерной морфометрии почв // Вестник Томского гос. ун-та. – 2004. – № 30. – С. 50–57.
3. Медведев В. В. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты) / В. В. Медведев, Т. Е. Лындина, Т. Н. Лактионова. – Харьков, 2004. – 244 с.
4. Медведев В. В. Твердость почвы. – Харьков : Городская типография, 2009. – 152 с.
5. Пахомов А. Е. ГИС-подход для оценки изменчивости электропроводности почвы под влиянием педотурбационной активности слепыша (*Spalax microphthalmus*) / А. Е. Пахомов, Т. М. Ковалова, А. В. Жуков // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2010. – Вип. 18, т. 1. – С. 58–66.
6. **3D spatial variation** of the soil impedance as affected by soil tillage / A. Castrignano, D. De Giorgio, F. Fornaro, A.V. Vonella // Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions – 13th International Soil Conservation Organisation Conference – Brisbane, 2004. – Paper N 744. – P. 1–5.
7. **Assessment** of soil structural differentiation around earthworm burrows by means of X-ray computed tomography and scanning electron microscopy / S. Schrader, H. Rogasik, I. Onasch, D. Jegou // Geoderma. – 2007. – Vol. 137. – P. 378–387.
8. **Ecological-niche** factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? / A. H. Hirzel, J. Hausser, D. Chessel, N. Perrin // Ecology. – 2002. – Vol. 83. – P. 2027–2036.
9. **Jones C. G.** Organisms as ecosystem engineers / C. G. Jones, J. H. Lawton, M. Shachak // Oikos. – 1994. – Vol. 69. – P. 373–386.

Надійшла до редколегії 01.10.2011