

6. *Якість ґрунту. Визначення загального азоту в модифікації ННЦ ІГА ім.О.Н. Соколовського* : ДСТУ 4726:2007. – [Чинний від 2008–01–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 14 с. – (Національний стандарт України).

7. *Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова* : ДСТУ 4115-2002. – [Чинний від 2003-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 10 с. – (Національний стандарт України).

8. *Сябрук О.П. Удосконалення інструментального методу контролю емісії CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунту* / О.П. Сябрук // *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. – 2015. – Вип. 84. – С. 123-128.

9. *Портативные газоанализаторы для мониторинга CO<sub>2</sub> в воздухе*. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.testo.kiev.ua](http://www.testo.kiev.ua)

10. *Термометры метеорологические стеклянные. Технические условия* : ГОСТ 112-78. – [Действителен от 1981-01-01]. – М. : Стандартиформ, 2006. – 15 с.

11. *Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT)* : ДСТУ ISO 11465-2001. – [Чинний від 2003–01–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2002. – 10 с. – (Національний стандарт України).

12. *Хазиев Ф.Х. Роль ферментативной активности в осуществлении почвой экологических функций* / Ф.Х. Хазиев // *Тезисы докладов международной научной конференции "Экология и биология почв"* – Ростов-на Дону, 2005. – С. 514-515.

13. *Карягина Л.А. Определение активности полифенолоксидазы и пероксидазы в почве* / Л.А. Карягина, Н.А. Михайловская // *Весті АН БССР, серія с/г наук*. – Мінськ, 1986. - № 2. - С. 41-42.

14. *Даденко Е.В. Изменение ферментативной активности образцов почв при их длительном хранении* / Е.В. Даденко, К.Ш. Казеев // *Почвоведение*. – 2006. – Т. 7. – № 1, 2. – С. 80-87.

15. *Звягинцева О.В. Динамика целлюлозоразлагающей, инвертазной и полифенолоксидазной активности почвенной микрофлоры Самарской области* / О. В. Звягинцева, Е. В. Максимова, О. Н. Макурина // *Вестник СамГУ Естественнонаучная серия*. – 2006. – №9(49). – С. 138-144.

*Стаття надійшла до редколегії 17.05.2016*

## INFLUENCE OF TRADITIONAL AND ORGANIC SYSTEMS OF AGRICULTURE ON DYNAMICS OF CARBON DIOXIDE EMISSION AND ENZYMATIC ACTIVITY OF CHERNOZEM PODZOLIZED

O.P. Syabruk, G.O. Tsygichko

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

E-mail: [blakhart.Liss@yandex.ua](mailto:blakhart.Liss@yandex.ua)

The article highlights problem of impact of the different farming systems on the dynamics of carbon dioxide production and the enzymatic activity of chernozem podzolized. We were investigated two farming systems: traditional one, with application of mineral fertilizers and organic one, without organic fertilizers (burying sideline products for the rejection of mineral artificial fertilizers). As a result it was established that intensity of carbon dioxide emission from the soil and the dynamics of this indicator is more dependent on the hydrothermal conditions (oscillation index of 340 to 575 ppm), than from biologization agriculture level. We also identified, that the index of dehydrogenase and polyphenol oxidase activity of chernozem podzolized were at the sufficient level both for organic and conventional farming systems. At the same time it was found increase of invertase index activity of chernozem podzolized under using organic farming.

**Keywords:** *system of agriculture, chernozem podzolized, emission of carbon dioxide, portable gas analyzer, soil, dehydrogenase, polyphenoloxidase, invertase, activity.*

УДК 550.34.016

## ГЕОСТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТВЕРДОСТИ ДЕРНОВОЙ БОРОВОЙ СЛАБОРАЗВИТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ «ДНЕПРОВСКО-ОРЕЛЬСКИЙ»

В.А. Новикова

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара,  
Днепропетровск, Украина

E-mail: [viktorianovforever@mail.ru](mailto:viktorianovforever@mail.ru)

Исследована вариабельность твердости дерновой боровой слаборазвитой почвы на участке

песчаной степи в природном заповеднике «Днепроовско-Орельский» с использованием геостатистик. На основании анализа рассчитанных вариограмм и, построенных на их основе карт пространственной изменчивости твердости почвы, показано, что в верхних слоях почвы, в пределах гумусированной части профиля наблюдается высокая вариабельность параметров твердости почвы, с постепенным нарастанием её значений с глубиной. Наивысшие параметры твердости, имеющие закономерный характер, начинаются в середине переходного горизонта и не изменяются вплоть до аллювиальной породы.

**Ключевые слова:** твердость почвы, геостатистика, пространственная вариабельность, неоднородность, сферическая модель.

## 1. Введение

Почва – звено, соединяющее геосферу, атмосферу и биосферу нашей планеты [1]. Без нормального функционирования почвы невозможно сохранение современного биологического разнообразия [2]. Почва – важнейший фактор формирования местообитаний для всей разнонаправленности живого вещества [3].

Одним из важнейших свойств почвы, как среды обитания биоты, является её гетерогенность. Пространственная неоднородность почвы обуславливает сосуществование многих организмов в многовидовых сообществах [4]. Информационно емким маркером пространственной неоднородности является твердость почвы [6]. Показано, что при увеличении твердости почвы происходит снижение количества доступного кислорода в почвенном воздухе для корневой системы, что приводит к постепенному снижению физиологической активности растений [5]. Почвенно-физическими факторами, определяющими твердость почвы, являются количественное содержание и фазовое состояние воды, гранулометрический и структурный состав, плотность сложения, размер пор и соотношение их размеров и т.д. [6]. Пространственная изменчивость твердости почвы является одним из факторов, влияющих на жизнедеятельность живых организмов, в частности, на растения (границная твердость почвы для корней растений не должна превышать 3 МПа) [16]. Изучение пространственной изменчивости твердости почвы дает возможность установить характер взаимосвязей между эдафотопом и другими компонентами биогеоценоза, в частности, с почвенной фауной [7].

Эдафические свойства, среди которых важное место занимает твердость почвы, демонстрируют неоднородность, а их пространственная структура должна быть принята во внимание при анализе данных. Для описания пространственной вариабельности эдафических свойств почв применяются методы геостатистики. Важным инструментом геостатистики является кригинг [9]. Геостатистика позволяет количественно определить величины пространственной изменчивости отдельных свойств на основе построения модели пространственной структуры. Пространственные структуры свойств почвы отображаются с помощью вариограмм [22]. Для подтверждения наличия пространственных структур, аналогично тому, как это делается при анализе временных рядов, применяются автокорреляционные функции [13, 14, 16]. Однако аналогия ограничивает применение такого подхода только для пространственных данных, собранных вдоль трансекты (аналог временного ряда). Пространственную автокорреляцию можно оценить с помощью *I*-статистики Морана, которая также подвержена оцениванию на предмет статистической достоверности [13].

В наших предыдущих исследованиях на территории природного заповедника «Днепроовско-Орельский» [8] показано, что твердость почвы на участке песчаной степи играет важную роль в организации растительного покрова. Из более чем 700 видов высших растений, встречающихся на территории природного заповедника, флора степных участков представлена порядка 308 видами. Из них 2 вида (*Pulsatilla nigricans* и *Stipa borysthenica*) занесены в Красную книгу Украины, 2 – в Европейский Красный список, около 8 видов числится в региональном списке охраняемых видов, а 9 видов степной флоры являются эндемиками различного ранга [17]. Также было установлено, что значения твердости почвы на участке песчаной степи подчиняются тенденции монотонного увеличения с глубиной по профилю почвы. В работе [8] высказана гипотеза, что существование наблюдаемых «сгустков» с повышенной твердостью на изучаемой территории может быть следствием различных причин. Полагаем, к их числу можно отнести особенности геоморфологии, неоднородность гранулометрического состава вследствие эоловых процессов, преференциальные потоки влаги, а также такие

биотические факторы, как пространственная неоднородность растительного покрова и деятельности почвенных животных. Таким образом, важным условием охраны редких псаммофитных комплексов является понимание организации почв, на которых эти комплексы формируются. Механизмы, влияющие на пространственную изменчивость твердости почвы на данном участке, не изучены. Границы и природа этих явлений требуют дальнейшего анализа.

*Целью этой работы* является установление особенностей пространственной вариабельности твердости почвы на участке песчаной степи в природном заповеднике "Днепроовско-Орельский", расположенном в долине р. Днепр.

## 2. Объекты, материалы и методы

Твердость почвы является экологически релевантным показателем, который зависит от множества других, «классических» почвенных свойств – плотности сложения, влажности, гранулометрического и агрегатного состава и т.д. [6]. Ключевой методической особенностью определения твердости почвы является возможность получения большого объема экспериментальных полевых данных за короткий период, что особенно важно для изучения пространственного варьирования физического состояния почвенного тела как среды обитания живых организмов.

Исследования проведены в апреле-мае 2014 г. в природном заповеднике «Днепроовско-Орельский» (Днепропетровская область, Петриковский район). Полигон заложен в аренной части заповедника, на участке песчаной степи. Полигон, размером 21×45 м, состоит из 7 трансект. Каждая трансекта включает 15 точек контроля, расстояние между рядами составляет 3 метра. Начальные точки первой трансекты лежат у основания дюны. Средняя часть полигона захватывает вершину дюны, на которой находятся кусты чернокленовника. Также у основания дюны расположены несколько отдельно стоящих сосен. Далее (по трансекте) наблюдается постепенное понижение рельефа, и полигон заканчивается в междюнном понижении. Преобладающий тип биогеоценоза – песчаная степь с фрагментами чернокленовых кустарников с преобладанием силвантов [8].

Почва на изучаемом заповедном участке – *дерновая боровая слабообразованная, песчаная на древнеаллювиальных отложениях* с такими границами генетических горизонтов: Н<sub>0</sub> 0-3; Н<sub>d</sub> 0-5; Н<sub>p</sub> 5-11; РН 11-29; Р<sub>h</sub> 29-120; Р глубже 120 см [11]. Песчаный грансостав сохраняется во всех горизонтах.

Твердость почвы в каждой точке измерена ручным пенетрометром *Eijkelkamp* послонью до глубины 100 см, с интервалом в 5 см. Измерения проведены конусом с поперечным сечением 2 см<sup>2</sup>.

Расчет геостатистических показателей проведен с помощью программы *Surfer 11.0* [8]. Для описания пространственной изменчивости твердости использовали параметры вариограммы сферических моделей: наггет-эффект ( $C_0$ ); частичный порог ( $C_1$ ); порог ( $C_0+C_1$ ); радиус влияния; уровень пространственной зависимости (*spatial dependence level* – SDL):

$$SDL = 100 \times \frac{C_0}{C_0 + C_1}$$

Данные геостатистики характеризуют пространственную вариабельность твердости почвы в тангенциальном направлении к поверхности почвы в последовательных почвенных слоях. Таким образом, сформированы последовательные ряды данных, описывающих смежные слои. Это дает нам основание для вычисления скорости изменчивости геостатистик по профилю почвы с применением формул численного дифференцирования [21]. Для первого почвенного слоя (0–5 см) была применена формула разделенной разности вперед:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}$$

где  $y_i$  – значение геостатистики  $y$  в слое  $i$ ,  $y_{i+1}$  – значение геостатистики в слое  $i+1$ . Для последнего почвенного слоя (95-100 см) была применена формула разделенной разности назад:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}},$$

где  $y_{i-1}$  – значение геостатистики  $y$  в слое  $i-1$ . Для всех остальных промежуточных слоев была применена формула центральной разницы:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{x_{i+1} - x_{i-1}}.$$

Физический смысл численного дифференцирования геостатистик состоит в том, что полученные оценки отражают ещё один аспект неоднородности почвенного тела. Если геостатистики учитывают неоднородность в горизонтальном (тангенциальном при учете кривизны поверхности почвы) направлении, то производная геостатистик указывает на изменчивость пространственных свойств в вертикальном (нормальном к поверхности) направлении. Кроме того, представление поведения системы в координатах, образованных производными параметров системы, к числу которых относятся геостатистики, дают возможность получить фазовый портрет системы, который дает дополнительную информацию о её динамических свойствах.

Для оценки автокорреляции применена  $I$ -статистика Морана, которая рассчитана с помощью программы GeoDa [12,13]

### 3. Результаты и обсуждение

Геостатистика основывается на статистической интерпретации данных и имеет множество механизмов, позволяющих прогнозировать значения в точках, в которых отборы проб не производились, в частности, используя и методы интерполяции [10].

В таблице 1 представлены результаты средних значений измерений твердости почвы на исследуемом участке и геостатистические показатели.

**Таблица 1**

*Геостатистические параметры твердости почвы*

Слой, см	Среднее, МПа±ст. ошибка	$C_0$ (наггет) * $10^{-2}$	$C_1$ (частичный порог)	$C_0+C_1$ (порог)	SDL, %	Радиус влияния, м	$I$ -Морана	$p$ -уровень*
0-5	0,65±0,02	0,05	0,03	0,03	1,64	6,57	0,13	0,03
5-10	0,95±0,02	0,52	0,03	0,04	14,10	5,91	0,09	0,05
10-15	1,34±0,02	0,67	0,06	0,07	10,07	6,50	0,14	0,03
15-20	1,73±0,04	1,22	0,11	0,12	10,21	6,03	0,24	0,00
20-25	2,11±0,04	2,38	0,16	0,18	13,09	6,21	0,32	0,00
25-30	2,45±0,08	4,87	0,14	0,18	26,49	6,80	0,43	0,00
30-35	2,79±0,08	10,60	0,43	0,59	19,88	7,50	0,46	0,00
35-40	3,05±0,09	10,61	0,48	0,59	18,10	8,30	0,46	0,00
40-45	3,38±0,08	11,02	0,56	0,67	16,44	8,70	0,33	0,00
45-50	3,76±0,08	12,03	0,57	0,69	17,34	9,20	0,34	0,00
50-55	4,16±0,08	12,93	0,55	0,67	19,16	9,50	0,29	0,00
55-60	4,42±0,08	11,90	0,36	0,48	25,05	9,40	0,38	0,00
60-65	4,55±0,06	12,08	0,30	0,42	30,26	9,70	0,29	0,00
65-70	4,70±0,06	11,90	0,22	0,34	35,21	9,80	0,32	0,00
70-75	4,73±0,06	11,00	0,29	0,40	27,30	9,96	0,26	0,00
75-80	4,80±0,06	11,90	0,29	0,40	27,54	10,50	0,27	0,00
80-85	4,74±0,06	12,80	0,28	0,41	31,37	10,60	0,22	0,00
85-90	4,75±0,06	13,12	0,24	0,37	35,08	10,80	0,23	0,00
90-95	4,75±0,06	9,32	0,28	0,37	25,12	8,10	0,09	0,05
95-100	4,72±0,05	10,14	0,21	0,11	32,37	7,87	0,24	0,00

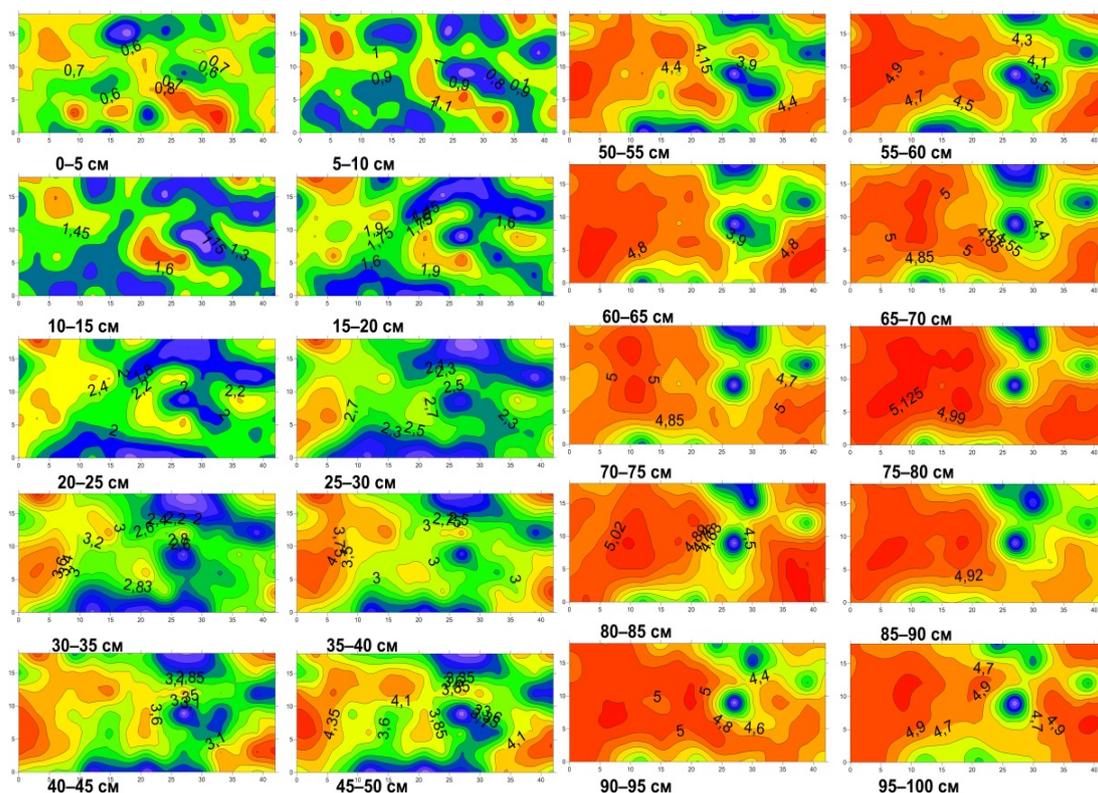
\* – после 999 пермутаций

Для средних значений твердости почвы по слоям (N = 105) характерно постепенное увеличение с глубиной от значений 0,65 МПа до 4,72 МПа. С глубины 0-5 см до 55-60 см (т.е., фактически, до середины переходного горизонта) значения твердости монотонно увеличиваются от 0,65 МПа до 4,42 МПа. Затем наступает состояние относительной стабильности, и в слое 60-100 см (нижняя часть переходного горизонта) значения твердости колеблются от 4,42 МПа до 4,72 МПа. В слое 75-80 см находится максимальное значение твердости – 4,80 МПа [8]. Превышение граничного для корней растений уровня твердости почвы (3 МПа) [7] наблюдается с глубины 35-40 см.

Оценка автокорреляции твердости почвы с помощью I-статистики Морана свидетельствует о наличии статистически достоверной пространственной компоненты варьирования этого показателя.

На основании рассчитанных вариограмм были построены карты пространственной изменчивости твердости почвы (рис. 1).

Участки с повышенной твердостью формируют геометрически обособленные зоны, которые характеризуются размерами и формой. Остальная часть почвенного тела занята участками с меньшей твердостью. Пространственная организация почвы, выявляемая в настоящем исследовании, наиболее близка к понятию «педон», но этот термин имеет конкретный почвоведческий смысл, для определения которого одной твердости не достаточно, поэтому мы используем более общий, а значит, менее определенный термин – почвенное тело. Таким образом, оценка пространственного соотношения участков с высокой и низкой твердостью позволяет нам описать организацию почвенного тела.



Условные обозначения: оси абсцисс и ординат – локальные координаты, м

**Рис. 1.** Карты пространственного распределения твердости почвы (в МПа) в пределах полигона по слоям

Анализ данных, приведенных на рисунке 1, свидетельствует о том, что на глубине 95-100 см находятся области с повышенной твердостью почвы, занимающие большую часть изучаемой территории, которые (на срезах) имеют амeboидную форму. Данные участки в большей степени однородны по показателю твердости. С приближением к поверхности почвы форма рассматриваемых областей изменяется. Граница контакта зон повышенной и пониженной твердости становится более изрезанной. Начиная с глубины 65-70 см участки с повышенной твердостью (4,85 МПа), которые находятся с правой

стороны изучаемой территории, постепенно уступают место областям с меньшими значениями твердости почвы (4,1 МПа). С глубины 45-50 см до 0-5 см, соотношение более твердых и менее твердых участков становится примерно одинаковым во всех слоях, каждый из этих слоев имеет переменные значения твердости и формирует мозаичную структуру её пространственного распределения. Таким образом, установлено, что повышенные значения твердости почвы в пределах наших послойных измерений образуют конусообразную область (с основанием конуса в слое 95-100 см, что совпадает с нижней частью переходного горизонта почвы), которая в срезе по слоям дает амебоидную форму.

Нагетт-эффект указывает на значимость непространственной компоненты. Установлено, что данный показатель варьирует от значения  $0,05 \cdot 10^{-2}$  до  $13,12 \cdot 10^{-2}$ . В слое 0-15 см нагетт постепенно увеличивается с  $0,05 \cdot 10^{-2}$  до  $0,67 \cdot 10^{-2}$ , затем, в пределах 15-35 см, происходит резкий скачок значений вверх с  $0,67 \cdot 10^{-2}$  до  $10,60 \cdot 10^{-2}$ , и в слое между 35 и 100 см значения нагетт-эффекта колеблются от  $10,60 \cdot 10^{-2}$  до  $13,12 \cdot 10^{-2}$ . Это значит, что до глубины 30-35 см наблюдается высокая зависимость между точками влияния, соответственно, высокому показателю гетерогенности твердости почвы.

Порог – это значение, которое модель вариограммы принимает в точке радиуса влияния. Значения данного показателя меняются с глубиной от 0,03 до 0,31. В пространстве между слоями 0-5 и 25-30 см происходит постепенное увеличение значений порога (от 0,03 до 0,18). Затем наблюдается значительный пик показателей в пределах слоя 25-70 см (0,18-0,34) с максимальным значением на глубине 45-50 см (0,69), после чего – постепенное снижение показателей, начиная от слоя 70-75 см до 95-100 см (0,40-0,31).

Отношение нагетт-эффекта к показателю «порог» дает возможность оценить уровень пространственной зависимости (SDL). При значении пространственного соотношения 0-25 % имеет место высокая пространственная зависимость; при значении 25-75 % – средняя зависимость; при значении 75-100 % – низкая [10].

Установлено, что показатель SDL увеличивается от 1,64 % на глубине 0-5 см до 32,77 % на глубине 95-100 см. Установлено несколько локальных пиков: первый пик наблюдается на глубине 10-25 см (10,07 %-26,49 %), второй – 35-55 см (18,10 %-25,05 %), третий – 70-85 см (27,30 %-31,37 %). Пики минимальных значений SDL свидетельствуют о повышении пространственной компоненты вариативности значений на данных участках. Вероятно, это может свидетельствовать о существовании разного рода механизмов, влияющих на пространственную неоднородность параметров твердости почвы.

Высокий уровень пространственной зависимости наблюдается на глубине 0-55 см (1,64 %-25,05 %), средний – на глубине 55-100 см (25,06 %-32,77 %).

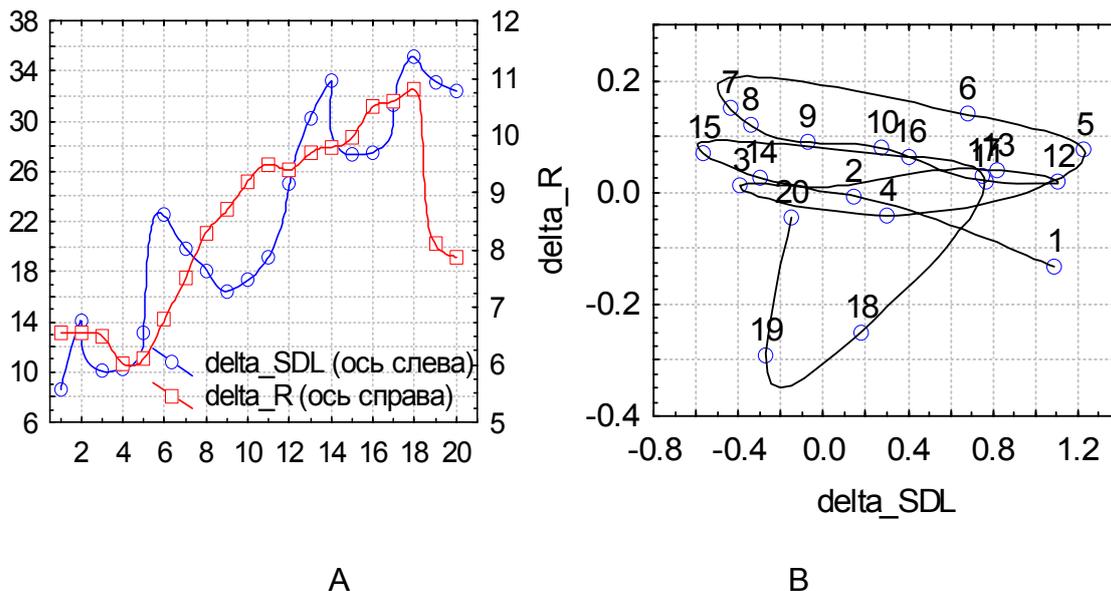
Установлено, что на глубине от 0-5 см до 25-30 см радиус влияния колеблется от 5,91 м до 6,57 м, затем в области 30–90 см происходит монотонное увеличение значений радиуса влияния от 6 м до 10,8 м. На глубине 90-100 см наблюдается спад этого показателя до уровня 7,87 м.

Почва – трехмерное тело, поэтому горизонтальное направление не является единственным, в направлении которого можно рассчитывать геостатистики. Возможен расчет и в вертикальном направлении, но значительная горизонтальная протяженность делает неравноценным (точнее, разномасштабным) варьирование почвенных признаков в горизонтальном и вертикальном направлениях. Поэтому в качестве показателя варьирования свойств почвы в вертикальном направлении мы рассматриваем производные вертикальных геостатистик.

На рисунке 2 изображены графики, отображающие производные ключевых геостатистик в профиле почвы – радиуса влияния и уровня пространственной зависимости, а также фазовый портрет системы.

Установлено, что значения производных радиуса влияния в слоях 0–5, ..., 10–15 см практически не изменяются, далее наблюдается локальный минимум этого показателя на глубине 15–20 см, после чего практически монотонно производная радиуса влияния увеличивается. На глубине 85–90 см установлен локальный максимум производной этого показателя, после чего наблюдается его снижение. Для производной показателя SDL характерен общий тренд увеличения с глубиной, который происходит как ступенчатый рост, вследствие чего наблюдается целый ряд локальных максимумов и минимумов данного показателя.

Отображение поведения системы в фазовом портрете позволило установить наличие квазипериодических циклов.



Условные обозначения: 1, 2, ..., 20 – порядок почвенных слоев (1=0-5; 10=45-50; 20=95-100), delta\_SDL – результат численного дифференцирования SDL, delta\_R – результат численного дифференцирования радиуса влияния

Рис. 2. Производные геостатистик в профиле почвы (А) и фазовый портрет (В)

#### 4. Обсуждение

В результате проведенного исследования установлено, что вариабельность твердости дерново-борово́й слаборазвитой песчаной почвы характеризуется пространственной неоднородностью. Это положение подтверждается статистической значимостью автокорреляции твердости почвы, выраженной с помощью  $I$ -статистики Морана. Геостатистики, которые могут быть получены на основании вариограмм, позволяют дать характеристику установленной неоднородности.

В дополнение классических геостатистик в нашей работе предложено применять их производные, которые оценены как результат численного дифференцирования изменчивости геостатистик по профилю почвы. Неоднородность почвы является результатом динамики почвообразовательных процессов. Поэтому закономерным является переход от статических описательных показателей (среднее, дисперсия – в классической статистике, наггет-эффект, частичный порог, радиус влияния – в геостатистике) к динамическим показателям, которые отображаются в терминах производных параметров в пространстве или во времени. Информативным инструментом отображения динамических свойств почвенной системы является фазовый портрет. Если оценка изменчивости твердости по профилю дает монотонное увеличение этого показателя с глубиной, то в фазовом пространстве мы видим гораздо более сложную квазициклическую динамику пространственных (геостатистических) показателей.

В.В. Медведев (2007) указывает на преимущество геостатистической методологии применительно к изучению неоднородности почвенного покрова и выделяет неоднородности морфологии профиля почв, агрохимических свойств, зоогенную неоднородность, неоднородность урожая (растительной фитомассы). Для объяснения полученных нами результатов следует считать уместным все из указанных аспектов неоднородности, так как твердость почвы является интегрированным показателем, который с одной стороны, зависит от множества физических и агрохимических свойств [6], а с другой – оказывает влияние на протекание экологических процессов [18].

В качестве ключевого фактора, который определяет формирование пространственных паттернов твердости почвы, мы можем отметить неоднородность растительного покрова, которая характерна для изученного биогеоценоза [8]. Растительность оказывает влияние на интенсивность эоловых процессов, которые нивелируют автокорреляцию на малых масштабных уровнях, но способствуют её

формированию на более высоких. Растительные куртины являются зонами аккумуляции растительного материала и активного протекания процессов гумусонакопления, что оказывает существенное влияние на вариабельность почвенных свойств, в том числе и твердости почвы. Растительные организмы приводят к активизации процессов испарения влаги. Поэтому неоднородность растительного покрова существенно влияет на перераспределение влаги, которая в значительной мере определяет твердость почвы.

Зоогенный фактор также может выступать как важная причина формирования пространственной неоднородности твердости почвы. Так, в рассмотренной нами почве обнаружено 40 видов почвенной мезофауны, численность которой составляет  $68,9 \pm 14,6$  экз./м<sup>2</sup> (не опубликованные данные). Среди почвенных животных следует отметить активного почвороя – чесночницу обыкновенную (*Pelobates fuscus*). Следует отметить, что зоогенные эффекты следует ожидать на более низком масштабном уровне, чем может быть изучен при выбранном шаге размещения проб.

При перемещении почвы по склонам дюнных всхолмлений (крип) может наблюдаться возникновение трещин, которые способны существенно изменять водно-физические свойства почв посредством формирования дополнительных преимущественных потоков влаги в почве [20]. Пространственные паттерны и средние уровни инфильтрации почв на склонах можно объяснить как следствие различной организации системы трещин в почве, которая возникает как результат геоморфологического крипа [19]. Установленные нами пространственные конфигурации паттернов почвенной неоднородности вполне могут быть объяснены взаимным смещением участков почвы в результате крипа.

## 5. Выводы

1. При анализе вариабельности твердости почв *I*-статистика Морана позволила подтвердить наличие пространственной автокорреляции. Уровень пространственной зависимости, выраженный с помощью показателя SDL, значительно изменяется по профилю, демонстрируя общий колебательный тренд повышения при увеличении глубины. Для почвенных слоев до глубины 55–60 см характерна высокая пространственная зависимость твердости почвы, а для более глубоких слоев – умеренная зависимость.

2. В работе в качестве дополнительных показателей неоднородности почвы предложено применять профильные производные геостатистик, установленные для варьирования признаков в горизонтальном направлении. Такой подход исходит из представления о почве как о целостном естественно-историческом теле, что предполагает необходимость установления связи между показателями варьирования почвенных свойств в горизонтальном (тангенциальном к поверхности) направлении с варьированием в вертикальном (нормальном к поверхности) направлении.

3. Информативным инструментом отображения динамических свойств почвенной системы является фазовый портрет. Отображение системы в пространстве производных радиуса влияния и показателя пространственной зависимости SDL позволило установить наличие квазипериодических процессов изменчивости геостатистик по профилю почвы.

## Список использованной литературы

1. Гиляров М.С. Особенности почвы как среды обитания и ее роль в эволюции насекомых / М.С. Гиляров. М: Изд. АН СССР, 1949.- 280 с.
2. Добровольский Г.В. Экология почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. М: Изд-во Московского университета, 2012. - 412 с.
3. Апарин В.Ф. Почвы и биоразнообразия // Теоретические основы биоразнообразия, материалы семинара 19-20 мая 2000 г., СПбГУ. СПб. С. 23-26.
4. Карпачевский Л.О. Динамика свойств почвы / Л.О. Карпачевский. М.: ГЕОС, 1997. – 170 с.
5. Dr. Kim. Soil Compaction Stress & Trees: Symptoms, Measures, Treatments soil bulk density (g/cc) penetration resistance (MPa) by Dr. Kim, D. Coder, Warnell School of Forestry & Natural Resources University of Georgia Dec. 2007, – 195 p.
6. Медведев В.В. Твердость почвы / В.В. Медведев. – Харків: Міська друкарня, 2009, – 152 с.
7. Жуков А.В. ГИС-технологии и 3D-описание твердости почвы при рекультивации земель / А.В. Жуков, О.Н. Кунах, Г.А. Задорожная // III-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю.

Збірник наукових статей. Том. 1. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – С. 184–187.

8. Ганжа Д.С. Экоморфическая организация чернокленовников в псамофильной степи на арене р. Днепр / Д.С. Ганжа, О.Н. Кунах, А.В. Жуков, В.А. Новикова // Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель. – Д. – 2015, вип. 44. – 110–126.

9. Демьянов В.В. Геостатистика: теория и практика/ В.В. Демьянов, Е.А. Савельева. – М. :Наука, 2010. – 25-59 с.

10. Cambarella C.A. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils/ C.A. Cambarella, T.B. Moorman, J.M. Novak// Soil Science Soc. Am. – 1994. – Vol. 58 – P. 1501-1511.

11. Цветкова Н.Н. Микроэлементы в лесных черноземах Днепропетровщины // Вопросы степного лесоведения и научные основы лесной рекультивации земель. – Д.: ДГУ, 1985. – С.21-30.

12. Anselin L. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis // L. Anselin, S. Ibnu, Kh. Youngihn / Geographical Analysis. – 2006. – Vol. 38 (1). – P. 5–22.

13. Жуков О.В. Аналіз просторових даних в екології та сільському господарстві / О. Жуков. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2015. – 124 с. DOI: 10.13140/RG.2.1.3480.2406

14. Diggle P.J. Bayesian inference in Gaussian model-based geostatistics / P. J. Diggle, P. J. Ribeiro // Geographical and Environmental Modelling. – Vol. 6, No. 2. – 2002. – P. 129–146.

15. Жуков А.В. Байесовский подход для оценки гетерогенизации пространственного распределения почвенных свойств / А. В. Жуков, Е. В. Андрусевич, А. Ю. Покуса, Е. В. Лапко // Acta Biologica Sibirica. – 2015. – № 3–4. – С. 76–91.

16. Медведев В.В. Неоднородности почв и точное земледелие. Часть 1. Ведение в проблему. / В.В. Медведев – Харьков: Изд. «13 типография». – 2007. – 296 с.

17. Соловьев С.В. Материалы к инвентаризации псамитовых степей Среднего Приднепровья на примере Днепроовско-Орельского заповедника / С. В Соловьев, В. В.Манюк // Степи Северной Евразии: Материалы III Международного симпозиума. – 2003.

18. Демидов А.А. Пространственная агроэкология и рекультивация земель: монография / А. А. Демидов, А. С. Кобец., Ю. И. Грицан, А. В. Жуков – Днепропетровск: Изд-во «Свидлер А.Л.», 2013. – 560 с.

19. Жуков А.В. Пространственные паттерны инфильтрации почвы на склоне балки / А. В. Жуков, Г. А. Задорожная, И. В. Лядская // Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Серія Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, екологія ґрунтів. – 2013, № 2. – С. 22–27.

20. Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв / А. Б. Умарова // М.: ГЕОС. – 2011. – 266 с.

21. Шарый С.П. Курс вычислительных методов / Шарый С. П. – Новосибирск: Институт вычислительных технологий СО РАН, 2016. – 519 с.

22. Burgess TM, Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. The semi-variogram and punctual kriging./ T M Burgess, R. J. Webster // Soil Sci. 1980.- 31:315–319.

*Статья поступила в редакцию 15.02.2016*

## **GEOSTATIC ANALYSIS OF SOIL PENETRATION RESISTANCE OF WEAKLY DEVELOPED SANDY SOIL IN NATURAL RESERVE "DNEPROVSKO-ORELSKIY"**

**V.A. Novikova**

**Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine**

**E-mail: viktorianovforever@mail.ru**

The soil penetration resistance is ecologically relevant indicator, which depends on a number of other, "classical" properties of soil – density, moisture content, particle size distribution and aggregate composition, etc. Geostatistics is based on the statistical interpretation of data and operates a variety of mechanisms that are able to analyze the method of interpolation values for those places where samplings were not made. In the course of our study we investigated the variability of soil penetration resistance based on geostatistics. Maps of spatial variability of soil penetration resistance have been drawn on the basis of the calculated variogram. The upper layers of the soil cover of the studied area have been shown as being a high heterogeneity of soil penetration resistance. The homogeneous layers have been shown to be present on the basis of the spatial variation of the soil penetration resistance.

**Keywords:** soil penetration resistance, geostatistics, spatial variability, heterogeneity, spherical model.