

*Ключевые слова:* стохастические аттракторы, фрактальные размерности, роботы.

**EMERGENCE OF STOCHASTIC ATTRACTOR AND  
MANIFESTATIONS OF FRACTAL PROPERTIES OF DYNAMICAL  
CHAOS IN MANIPULATION SYSTEM AND WORK FOR  
AGRICULTURAL PURPOSES**

*This article identifies conditions of occurrence the stochastic attractors and their fractal dimensionality for the manipulation systems and robots with passive actuating device, which are in the condition of dynamic chaos.*

*Key words:* stochastic attractors, fractal dimensionality ,robots.

УДК 631.312.544

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ФРАКТАЛЬНОЇ  
ГЕОМЕТРІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ ОБРОБІТКУ  
АГРОГРУНТІВ**

**В. В. Смільський**, здобувач  
ННЦ «ІМЕСГ»

---

*Описується методика застосування методу фрактальної параметризації ґрунтової структури для оперативного моніторингу якості роботи землеробських знарядь. Оцінним параметром структури ґрунту являється фрактальна розмірність, яка тісно пов'язана з топологією об'єкту. Отримано ґрунтовий код, який може служити критерієм структурної подібності агроґрунтів.*

*Ключові слова:* методика, фрактал, обробіток, ґрунт, робочі органи, структура

---

**Постановка проблеми.** Структурний склад і щільність будови являються ключовими показниками агрофізичного стану агроґрунтів. Будь-який технологічний процес обробітку ґрунту супроводжується зміною структурних характеристик і кількісного співвідношення між його фазами. У зв'язку зі створенням нових аграрних технологій (наприклад, точного землеробства) зростає актуальність проблеми оцінювання характеристик властивостей структури, які б об'єктивно ві-

---

© В. В. Смільський.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

дображали реальні процеси формування умов життя рослин і якість роботи землеробських знарядь.

Сучасні ґрунтообробні знаряддя не створюють оптимальні параметри структурного складу та щільності будови агроґрунту в оброблюваному горизонті. Існуючий рівень розвитку методологічного ядра землеробської механіки вимагає залучення нових, більш досконалих методів для створення технологічних моделей агроґрунтів і процесів їх обробітку, які б відповідали різним етапам їх дослідження, а також забезпечували взаємозв'язок моделей і способів їх застосування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якість структури ґрунтів завжди була в полі зору агрономічної науки. З метою оцінювання якості структури ґрунту відомий ґрунтознавець К. К. Гедройц виділив три розмірні групи агрегатів: брили ( $>10$  мм), агрономічно цінні агрегати ( $10-0,25$  мм) і пил ( $<0,25$  мм). Він же з'ясував, що розмір агрономічно цінних агрегатів зменшується у посушливому кліматі, і навпаки. Причина прихована у різній здатності агрегатних фракцій до утримання вологи [1].

За наявності 35% пилу цілком заповнюються міжагрегатні пори ґрунту і за властивостями він вважається розпиленим, а більше 75% сильно розпиленим [2].

В. В. Медведєв вважає, що розмір ґрунтових агрегатів повинен відповідати розміру висіяного насіння, і бути диференційованим у поверхневому і насінневому шарах [3]. Є й інші результати, які вказують на вплив структури на урожай культурних рослин [7].

У польових умовах структурний стан ґрунту оцінюють кількістю брил на  $1 \text{ м}^2$  поверхні ріллі [3]. Після основного осіннього обробітку кількість брил розміром  $>50$  мм не повинна перевищувати 20% площі, а перед сівбою їх не повинно бути взагалі.

Для кількісного оцінювання агрономічної якості структури ґрунту запроваджено коефіцієнт структурності  $K_{\text{стр}}$ , який являє собою відношення суми вагового вмісту агрономічно цінних агрегатів ( $0,25 \dots 10$  мм) до суми макро- ( $>10$  мм) і мікроагрегатів ( $<0,25$  мм). Структура вважається хорошою якщо  $K_c > 1,5$ , задовільною, якщо  $K_c = 0,6 \dots 1,5$ , і поганою, коли  $K_c < 0,6$  [3].

Структуру агроґрунтів оцінюють також за допомогою кумулятивних кривих, які будують за результатами розсіювання маси ґрунту крізь набір сит: на осі абсцис відкладають логарифми розмірів агрегатів, а на осі ординат – їх вміст наростаючим підсумком, починаючи з пилуватої фракції.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на велику увагу, яка приділяється вивченню агрономічного значення ґрунтової структури, сьогодні в аграрній практиці немає універсальної міри, яка б мала фізичний зміст і давала можливість порівнювати різні за своєю природою показники її якості. Коефіцієнт структурності  $K_{\text{стр}}$  має констатуючий характер, тому що характеризує статичне відношення арифметичної суми маси фракцій агрегатів, але не виявляє ступінь кришення ґрунту, яка представляє інтерес у дослідженнях якості роботи землеробських знарядь. Об'єднання декількох фракцій агрегатів у дві групи (агрономічно цінні і нецінні) засновано на неявному припущенні, що нестача одних може бути компенсована іншими, наприклад, брилиста фракція – пилюватою. Звідси виходить, що агрегати розміром  $>10$  мм і  $<0,25$  мм однаково впливають на якість структури, а в разі цілковитої відсутності обох фракцій коефіцієнт структурності  $K_{\text{стр}}$  приймає значення нескінченності, що неприродно. Таке об'єднання некоректне ще й з тих міркувань, що, по-перше, агрегати різних розмірів мають різні фізико-хімічні властивості, а по-друге між ними відбувається речовинний обмін, у зв'язку з чим виникають властивості, притаманні системам, яких не має жодна фракція. Зміна складу агрегатів та рекомбінації їх зв'язків є причиною зміни властивостей всієї ґрунтової системи. Характеристика якості структури ваговим вмістом або геометричними параметрами агрегатів некоректні ще й з тих причин, що якість ґрунту визначається не вагою мінеральної частини, а біохімічною роботою, яка відбувається у міжагрегатних порах, де формується життєдіяльність ґрунтових організмів у газовій та рідкій фазах.

Виявлені у численних дослідженнях унікальні емпіричні розподіли агрегатів у ґрунті не вдається описати стандартними функціями імовірнісного розподілу, що дає нам підстави для застосування методології фрактальної геометрії, яка дозволяє ефективно вирішувати такі завдання і широко використовується для опису складних систем.

**Мета роботи** - дослідження можливості застосування методології фрактальної геометрії для оцінювання якості кришення ґрунту робочими органами землеробських знарядь.

**Виклад основного матеріалу.** Суть нашого дослідження полягає в радикальній зміні парадигми кількісного оцінювання структури агроґрунтів на основі методології фрактальної геометрії. Методологічно обмежені можливості традиційної методики ми замінюємо засобами пізнання, які відображають не форму явища, а його суть, для того щоб

їх логічна організація відповідала змісту процесу кришення ґрунту робочими органами. Сукупність агрегатів ґрунту розглядається як система взаємопов'язаних між собою всіх фракцій, тому вона отримує нові властивості, яких немає окремих агрегат.

Демонстрацію застосування методу фрактальної геометрії проведемо на результатах агрегатного аналізу якості обробітку дерново-підзолистого важко-суглинкового ґрунту, запозичених у [6]. У таблиці 1 наведені первинні дані мокроґрунтового просіювання агрегатів, а також значення коефіцієнта структурності  $K_{\text{ср}}$ , який оцінює якість різних способів обробітку. Аналіз даних таблиці показує, що всі способи обробітку створюють незадовільний структурний стан ґрунту в кореневмісному горизонті 0-29 см, а найгірший результат отриманий після звичайної оранки. Тут виявилось лише 15,4% агрономічно цінних фракцій і найбільше брилистої фракції - 82,8%, а тому значення коефіцієнта структурності найменше - 0,18. Звертають на себе увагу близькі значення  $K_{\text{ср}}$  після нульового і поверхневого обробітку. В обох випадках вміст цінних фракцій складає 28,6 %, але після нульового обробітку у два рази більше пилу.

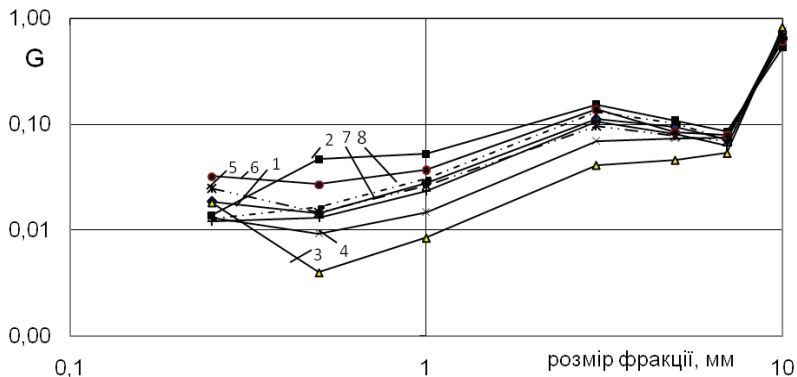
**Таблиця.** Агрегатний склад дерново-підзолистого ґрунту після різних способів обробітку

Спосіб обробітку	Глибина, см	Середній розмір фракцій агрегатів d, мм, та їх відносний вміст G							$K_{\text{ср}}$	Параметри функції (5)		
		<0,25	0,5	1	3	5	7	>10		a	D	R <sup>2</sup>
2	29-40	0,014	0,047	0,053	0,153	0,109	0,085	0,530	0,82	0,61	1,16	1,0
3	0-29	0,018	0,004	0,009	0,041	0,046	0,054	0,828	0,18	0,88	1,04	1,0
4	21-31	0,013	0,009	0,015	0,069	0,073	0,074	0,746	0,32	0,82	1,07	1,0
5	0-20	0,025	0,015	0,027	0,096	0,078	0,070	0,680	0,41	0,75	1,09	1,0
6	20-30	0,032	0,027	0,037	0,138	0,084	0,079	0,601	0,58	0,67	1,13	1,0
7	0-21	0,012	0,013	0,024	0,106	0,081	0,062	0,702	0,38	0,77	1,09	1,0
8	21-31	0,013	0,016	0,031	0,131	0,101	0,072	0,637	0,54	0,69	1,13	1,0

Примітка: спосіб обробітку: 1 - різноглибинний; 3 - звичайний; 5 - нульовий; 7 - поверхневий;

На рисунку 1 табличні дані зображені графічно у логарифмічних

координатах як частотний розподіл вагового вмісту фракцій агрегатів різного розміру. Візуальний аналіз графіків показує, що емпіричні розподіли агрегатного складу досліджуваного ґрунту є унікальними у всіх варіантах досліду, а тому стандартні функції імовірнісного розподілу використати не вдасться.



**Рис. 1.** Частотний розподіл вагового вмісту фракцій агрегатів ґрунту у кореневмісному горизонті після різних способів обробки

Крім частотного у математичній статистиці є кумулятивний розподіл, який дає можливість застосувати алгоритм обробки емпіричних даних методами фрактальної геометрії. Фрактальною називається множина елементів, які у деякому відношенні подібні цілому[8]. Фрактальна розмірність  $D$  такої множини рівна:

$$D = \ln N(d) / \ln d, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість елементів;  $d$  – характерний розмір елемента.

Для обчислення  $D$  рівняння (1) представимо у вигляді степеневі функції:

$$N = a (d)^D. \quad (2)$$

Оскільки рахувати кількість агрегатів  $N$  у дослідній пробі не зовсім зручно, замінимо їх ваговим вмістом фракції  $G$ , а характерний розмір агрегатів представимо масштабом вимірювання  $\delta$ , який являє собою відношення розміру поточної фракції  $d$  до найбільшого розміру агрегатів  $d_{\max}$ .

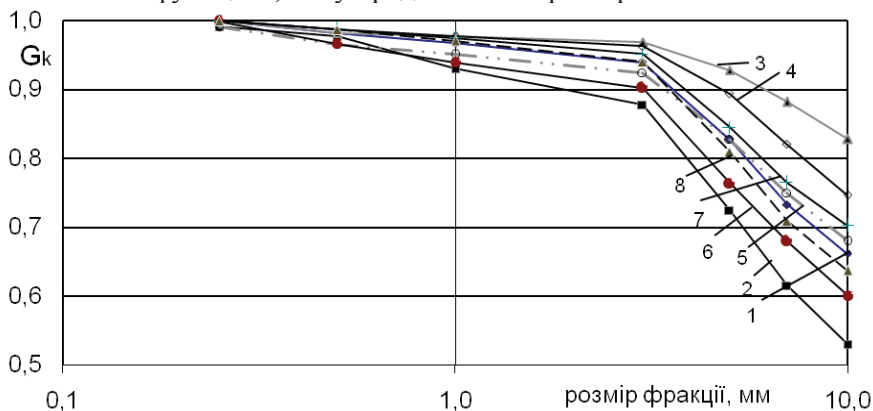
$$G = a (\delta)^D, \quad (3)$$

де  $G$  – відносний ваговий вміст фракції;  $a$  – коефіцієнт пропорційності;  $\delta = d/d_{\max}$  – масштаб вимірювання;  $d$  – середній діаметр агрегатів окремої фракції, мм;  $d_{\max}$  – діаметр агрегатів найбільшого розміру, мм.

Кумулятивну суму вагового вмісту агрегатів  $G_k$  починаємо складати від фракції найбільшого розміру до найменшого, тоді відносний ваговий вміст  $G$  змінюється кумулятивною сумою  $G_k$ , а функція (3) приймає вигляд:

$$G_k = a \cdot (\delta)^D \quad (4)$$

Функція (4) графічно зображена на рис. 2 в логарифмічних координатах. Як видно з рисунка графіки ще не можуть бути апроксимовані степеневою функцією, тому продовжимо перетворення.



**Рис. 2.** Кумулятивні розподіли агрегатів ґрунту після різних способів обробки

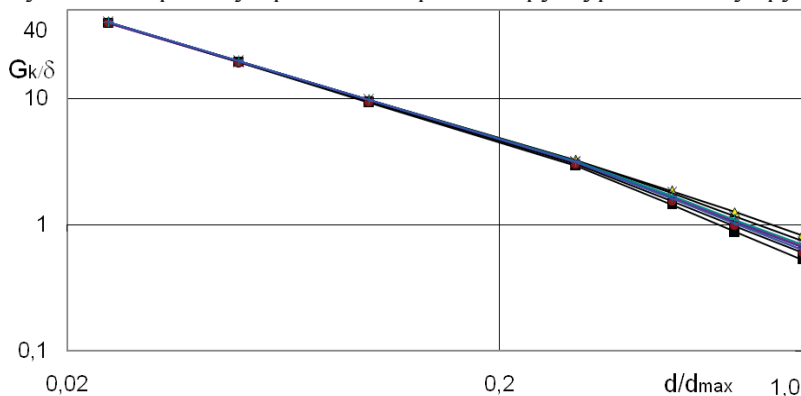
Кожну наступну суму  $G_k$  ділимо на відповідне їй значення масштабу  $\delta$ , тоді нова функція  $G_k/\delta$  отримає вигляд:

$$G_k/\delta = a \cdot (\delta)^D, \quad (5)$$

а її графік у логарифмічних координатах стає прямою лінією, що вказує на можливість її апроксимації степеневою функцією. Точність апроксимації емпіричних даних залежністю (5) оцінюється коефіцієнтом детермінації  $R^2$ , значення якого разом з фрактальною розмірністю  $D$  наведені у таблиці. Фрактальна розмірність  $D$  є характеристикою ступеня подрібненості множини агрегатів, і визначається

тангенсом кута нахилу графіка кумулятивного розподілу до осі абсцис. Таким чином ми отримали кількісний показник подрібненості агрегатного складу ґрунту у всьому діапазоні розміру фракцій.

Візуальний аналіз рисунка 3 і значень показника фрактальності  $D$  дає нам підстави вважати, що жоден з досліджуваних способів обробітку немає переваг у процесі створення структурного стану ґрунту.



**Рис. 3.** Фрактальні характеристики агрегатного складу ґрунтів

Лазарев А. П., Абрашин Ю. І. вивчали дію механічних обробок на структурний стан і щільність важко-суглинкового чорнозему звичайного [7]. Після прибирання попередників застосовували різні технології обробітку ґрунту, які вказані у таблиці 2. Якість обробітку ґрунту автори оцінювали щорічно перед сівбою ярової пшениці за вмістом окремих фракцій і коефіцієнтом структурності у горизонтах 0-10 см, 10-20 см і 20-30 см. Автори відзначають зменшення кількості  $>10$  мм), крупних грудок (10-5 мм) і зростання суми структурних фракцій розміром 3,0-0,25 мм у всіх варіантах дослідів. Найбільші значення коефіцієнта структурності отримані у горизонті 0-10 см після комбінованої обробітку ( $K_{стр} = 1,9...2,7$ ). Урожай пшениці після попередника кукурудзи мав позитивний зв'язок середнього ступеня ( $r = 0,39...0,43$ ) з сумою фракцій розміром 10-0,25 і 3-1 мм і коефіцієнтом структурності в горизонті 0-20 см.

Первинні дані авторів оброблені нами за запропонованою методикою і наведені у таблиці 2. Порівнюючи значення фрактального показника  $D$ , можна стверджувати, що великої різниці між технологіями обробітку ґрунту немає. Дещо вищі показники має чергування глибокої оранки і культивуації. Аналіз даних таблиці 2 підтверджує

можливість застосування фрактальної геометрії для оцінювання якості обробітку ґрунту землеробськими знаряддями та ефективності агротехнологій.

**Таблиця 2.** Описані результати оброблені за пропонованою методикою

№ п/п	Спосіб обробітку	Горизонт, см	K <sub>стр</sub>	Коефіцієнти функції (5)		
				a	D	R <sup>2</sup>
1	щорічна оранка плугом	0-10	1,8	0,36	1,24	0,98
		10...20	1,8	0,44	1,24	0,98
		20-30	1,9	0,44	1,25	0,98
2	чергування безполицевого обробітку і оранки плугом	0-10	1,9	0,34	1,25	0,98
		10...20	1,9	0,47	1,25	0,98
		20-30	2,1	0,41	1,27	0,98
3	плоскорізнний обробіток	0-10	2,2	0,35	1,27	0,98
		10...20	2,2	0,46	1,28	0,98
		20-30	2,5	0,41	1,31	0,98
4	чергування глибокої оранки і культивації	0-10	2,5	0,36	1,31	0,98
		10...20	2,5	0,44	1,32	0,98
		20-30	2,7	0,40	1,33	0,98

**Висновки.** 1. Проведена адаптація методології фрактальної параметризації агрегатного складу ґрунтової структури. Підтверджено фрактальний характер структури агроґрунтів, а показник дисперсності D можна використовувати в якості ґрунтового коду для оцінювання їх структурної подібності.

2. Розроблену методику можна застосувати:

- для комплексного оцінювання якості аграрних технологій обробітку ґрунту і якості роботи землеробських знарядь.
- для виявлення відмінності між візуально схожими варіантами структур отриманих різними видами агротехнічного впливу на ґрунт.
- для динамічного моніторингу агрегатного складу ґрунтів протягом вегетаційного періоду росту рослин.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Гедройц К.К. К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении / К.К. Гедройц // Изв. Гос. ин-та опытной агрономии, Т.4, № 3. 1920, –С. 117-127.
2. Вильямс. В.Р. Собрание сочинений. Т.3. Земледелие / В.Р. Вильямс



- // Гос. Изд-во сельскохозяйственной лит. - М.: - 1949. 468 с.
3. *Медведев В. В.* Использование агрофизических свойств черноземов при разработке почвообрабатывающих машин / В. В. Медведев, П. И. Слободюк, В. Ф. Пащенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 3. – С. 6-8.
  4. *Медведев В.В.* Грунтово-технологічні вимоги до ґрунтообробних знарядь і ходових систем машинно-тракторних агрегатів / В. В. Медведев, Т. М. Лактіонова // ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського». Харків: КП «Друкарня №13». 2008. - 68 с.
  5. *Медведев В. В.* Оцінка умов експлуатації ґрунтообробної техніки за властивостями ґрунтів / Медведев В. В., Лактіонова Т. М., Бігун О. М. // Вісник аграрної науки, – 2009. – №5, –С. 24-32.
  6. *Карпушенков В. И.* Изменение физических свойств дерново-подзолистой почвы под влиянием различных способов обработки / В. И. Карпушенков // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. - М.: Агропромиздат, 1989. –С. 76-80.
  7. *Лазарев А. П.* Структурное состояние и плотность чернозема обыкновенного и их влияние на урожай пшеницы / Лазарев А. П., Абрашин Ю. И. // Почвоведение, – 2000, – № 5, –С. 614-618.
  8. *Федер Е.* Фракталы / Е.Федер - М.: Мир, 1991. - 254 с.

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ФРАКТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВ**

*Описывается методика применения метода фрактальной параметризации почвенной структуры для оперативного мониторинга качества работы земледельческих орудий. Оценочным параметром структуры почвы является фрактальная размерность, которая тесно связана с топологией объекта. Получен почвенный код, который может служить критерием их структурного подобия.*

**Ключевые слова:** методика, фрактал, возделывание, почва, рабочие органы, структура.

### **USING THE METHODOLOGY OF FRACTAL GEOMETRY FOR ANALYSIS THE PROCESSES OF CULTIVATION SOIL**

*The methodize of fractal parameterization the soil structure's applying operational monitoring of the quality of agricultural implements is described in this article. Evaluative parameter of the soil structure is determined a fractal dimension which is closely related to the object's topology. The soil code is investigated it may serve as a criterion of the structural soil similarity.*

**Key words:** methodize, fractal, till, soil, workings organs, structure