

Пащенко Р. Е.

## АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ НА КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Сучасні методи космічного моніторингу сільськогосподарських земель із використанням вегетаційних індексів не дають змоги оцінювати аномалії на космічних знімках і автоматизувати цей процес. **Предметом дослідження** є оцінювання можливості виявлення аномалій на космічних світлинах із застосуванням "пірамідального" фрактального аналізу. **Об'єктом вивчення** є космічні знімки супутника Sentinel-2 сільськогосподарських земель з аномаліями й без них. **Мета роботи** – дослідження методу автоматизованого виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель із використанням фрактального аналізу. **Досягнуті результати.** Установлено, що візуалізація поля фрактальних розмірностей космічного знімка стає неефективною за умови використання "вікна" великих розмірів. Крім того, застосування "стрибаючого вікна" не дає змоги визначити аномальні ділянки на космічних зображеннях. Запропоновано метод виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель з упровадженням "пірамідального" фрактального аналізу, що сприяє автоматизації цього процесу. "Піраміди" космічних знімків створено за допомогою розподілу вихідного космічного зображення на знімки менших розмірів, які надалі індексуються. На кожному рівні "піраміди" розраховано фрактальні розмірності космічних знімків і побудовано "піраміду" фрактальних розмірностей, що еквівалентно застосуванню "стрибаючого вікна" під час побудови поля фрактальних розмірностей. **Висновки.** Дослідження розробленого методу виявлення аномалій продемонстрували, що якщо фрактальні розмірності космічних знімків усіх рівнів "піраміди" перевищують фрактальну розмірність  $D = 2,9$  або фрактальні розмірності на нижньому рівні "піраміди" більші, ніж на верхньому рівні, то аномалії на космічному знімку відсутні. Якщо фрактальні розмірності на окремих ділянках нижнього рівня "піраміди" менші за фрактальні розмірності на верхньому рівні й на вихідному космічному знімку, то на цих ділянках знімка спостерігаються аномалії.

**Ключові слова:** моніторинг сільськогосподарських земель; аномалія; космічний знімок; фрактальний аналіз.

### Вступ

Сучасні засоби дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дають змогу отримувати інформацію про стан і структуру сільськогосподарських угідь, а також виявляти ділянки, що мають аномалії, зокрема ерозійні порушення та інші види деградації землі [1]. Вплив природних, техногенних і антропогенних факторів на посівні площі також оцінюється за допомогою методів агроекологічного моніторингу [2]. Сучасні супутники ДЗЗ допомагають регулярно отримувати космічні знімки на заданій території (один знімок за 5–8 діб). Такі зображення відбивають реальний стан земної поверхні з великою просторовою роздільною здатністю (10–30 м), і отримана інформація надходить від відкаліброваних датчиків у різних діапазонах хвиль. Наприклад, такими супутниками ДЗЗ є Sentinel-2 [3], космічні знімки яких надаються користувачам у вільному доступі через мережу Інтернет. Світлина Sentinel-2 мають високу просторову роздільну здатність (в одному пікселі 10 м) у 13 спектральних діапазонах, тобто є мультиспектральними. Космічні знімки

супутника Sentinel-2 можна отримувати двічі на тиждень на заданій території.

Регулярний космічний моніторинг земель сільськогосподарського призначення найчастіше проводиться з упровадженням методів, основаних на використанні вегетаційних індексів [4]. Різноманітні вегетаційні індекси беруть до уваги різну відбивну здатність рослин, а також фізичні властивості світла та інші властивості. Найбільш часто застосовують нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI). Вегетаційні індекси визначаються емпірично, і їх застосування не дає змоги оцінювати аномалії на космічних знімках, а також автоматизувати цей процес.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [5] зазначено, що для розрахунку індексу NDVI використовуються показники двох спектральних каналів – ближнього інфрачервоного й червоного. Тобто для отримання інформації цих каналів необхідна апаратура багатоспектральної зйомки каналів, що ускладнює отримання вихідного

зображення. Крім того, у роботі наголошено, що доцільність методів моніторингу сільськогосподарських земель, основаних на використанні індексу NDVI, значно залежить від кількості активної біомаси, і ці методи не ефективні, коли рослинність має низький рівень вегетації. У дослідженні [6] наведено результати оцінювання можливості моніторингу сільськогосподарських земель з використанням космічних знімків із супутника *Sentinel-2* і розрахунку індексів NDVI. У роботі зазначено, що за допомогою індексів NDVI можна зробити висновок про перехід сільськогосподарської культури з однієї фази розвитку в іншу, але не досліджено доцільність виявлення аномалій на космічних знімках.

У студіях [7, 8] подано результати оцінювання врожайності й стану ґрунту та підстильної поверхні з використанням широкосмугових показників ДЗЗ і продемонстровано, що для оброблення інформації гіперспектральної зйомки необхідні спеціальні алгоритми аналізу зображень, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів і штучних супутників Землі. Крім цього, широко застосовуються нейронні мережі. Але впровадження сучасних алгоритмів отримання й оброблення гіперспектральних знімків призводить до збільшення складності та вартості апаратури, а також потребують тривалого часу для їх реалізації та ускладнення автоматизації.

Методи фрактального аналізу цифрових зображень [9, 10] дають змогу кількісно оцінити складність поверхонь і рослинності на космічних знімках, отриманих тільки в одному діапазоні хвиль. У роботі [11] продемонстровано можливість розрізнення різних типів ґрунтів із використанням фрактальних розмірностей, розрахованих для показників дистанційного зондування, але не розглянуто автоматизацію цього процесу. Стан різних сільськогосподарських культур посівів кукурудзи на різних фазах вегетації із застосуванням фрактального аналізу космічних знімків *Sentinel-2* досліджено в праці [12]. Крім того, продемонстровано, що за величиною середніх фрактальних розмірностей можна розподілити поля, засіяні гречкою та кукурудзою, і поля соняшнику, пшениці та ячменю, але в роботі не проаналізовано можливість виявлення на космічних знімках аномалій, викликаних впливом різних чинників.

Для визначення аномалій на космічних світлинах сільськогосподарських земель доцільно

розробити метод їх фрактального аналізу, що дасть змогу автоматизувати цей процес.

**Мета статті** – дослідити метод автоматизованого виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель за допомогою фрактального аналізу.

### **Матеріали й методи виявлення аномалій з використанням фрактального аналізу**

Оцінити складність структури космічного знімка (заповнення тривимірного подання зображення) можна за допомогою розрахунку фрактальної розмірності, яка є дробовою величиною. Вищому ступеню заповнення тривимірного подання знімка відповідає більша величина фрактальної розмірності. Порядок обчислення фрактальних розмірностей з упровадженням методів покриття й призми, які найчастіше застосовуються на практиці, та побудови поля фрактальних розмірностей цифрових зображень подано в роботах [10, 13].

Розрахунок фрактальної розмірності методом покриття [14] забезпечує геометричне обчислення розмірності Гаусдорфа–Безіковича. У цьому разі тривимірне подання космічного знімка покривається кубами із стороною заданої довжини  $\varepsilon$ , а потім визначається сумарна кількість кубів  $N(\varepsilon)$ , використана для покриття зображення. Така процедура повторюється для декількох розмірів сторони куба  $\varepsilon$  і будується графік логарифмічної залежності  $\log N(\varepsilon)$  від  $\log 1/\varepsilon$ . Для побудови апроксимованого графіка впроваджується метод найменших квадратів і після побудови аналізуються кути їх нахилу. Тангенс кута нахилу отриманої прямої є числовим значенням фрактальної розмірності  $D$ .

Розрахунок фрактальної розмірності методом призми [15] забезпечує визначення розмірності за допомогою обчислення площини верхньої грані призми. У цьому разі за показниками яскравості зображення обирається довжина основи призми розміром  $\varepsilon$  і формується верхня грань призми, а потім обчислюється її площа  $P(\varepsilon)$ . Така процедура повторюється для декількох розмірів довжини основи призми  $\varepsilon$  і будується графік логарифмічної залежності  $\log P(\varepsilon)$  від  $\log 1/\varepsilon$ . Надалі фрактальна

розмірність  $D$  визначається так само, як і в методі покриття.

Під час фрактального аналізу космічних (цифрових) знімків доцільно застосовувати поле фрактальних розмірностей (ПФР), процес побудови якого детально розглянуто в роботі [10]. Основними параметрами, які використовуються під час побудови ПФР, є розмір "вікна", яким сканується зображення, і крок переміщення "вікна"  $s$ . "Вікно" називають ковзним, якщо  $s=1$ , і стрибаючим, якщо  $s>1$ . Розмір ПФР буде меншим за розмір космічного знімка на величину "вікна". Побудоване ПФР космічного зображення можна розподілити на декілька рівнів за величиною фрактальної розмірності, що дає змогу його візуалізувати. Кожен рівень (діапазон змін фрактальних розмірностей) відтворюється відповідним кольором. "Вікна" з близькими значеннями фрактальних розмірностей можуть бути об'єднані в окремі ділянки.

У роботі [13] визначено, що розрахунок фрактальних розмірностей і візуалізація ПФР можуть застосовуватися для сегментації сільськогосподарських земель на космічних знімках супутника *Sentinel-2*. Продемонстровано, що візуалізація ПФР космічних знімків дає змогу наочно показати зміну стану сільськогосподарських угідь і межі аномалій на знімках. Але в цьому дослідженні не проаналізовано, як розмір "вікна" й величина кроку його переміщення впливають на якість побудови ПФР і його візуалізацію. Проведемо такий аналіз з використанням космічних знімків каналу b8 супутника *Sentinel-2* розміром  $56 \times 56$  пікселів.

На рис. 1 подано космічні знімки супутника *Sentinel-2* поля з пшеницею без аномалій розміром  $56 \times 56$  пікселів (а), з аномаліями розмірами  $56 \times 56$  (б) і  $28 \times 28$  пікселів (в). Космічні знімки розміром  $28 \times 28$  пікселів (див. рис. 1, в) є чотирма частинами космічного знімка з аномаліями розміром  $56 \times 56$  пікселів (див. рис. 1, б).

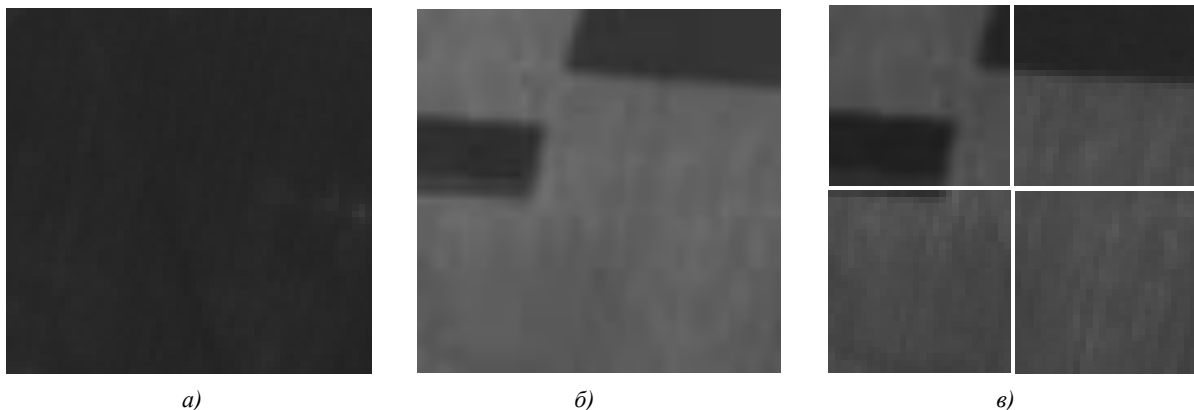


Рис. 1. Космічні знімки супутника *Sentinel-2* (канал b8) поля з пшеницею без аномалій розміром  $56 \times 56$  пікселів (а), з аномаліями розмірами  $56 \times 56$  (б) і  $28 \times 28$  пікселів (в)

Побудуємо ПФР космічних знімків розмірами  $56 \times 56$  і  $28 \times 28$  пікселів з використанням методу призми й "ковзного вікна", а також виконаємо їх візуалізацію.

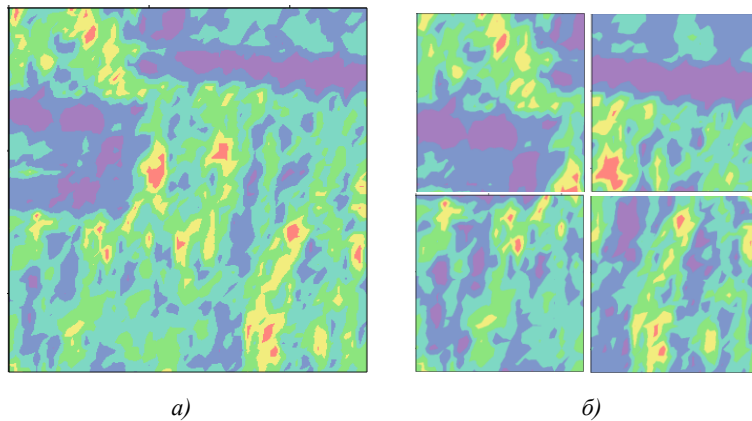
На рис. 2 наведено візуалізацію ПФР космічних знімків (поданих на рис. 1, б, в) з використанням "вікна" розміром  $5 \times 5$  пікселів з кроком переміщення 1 піксель; розміри ПФР становлять  $51 \times 51$  (а) і  $23 \times 23$  пікселі (б). Кількість діапазонів зміни фрактальних розмірностей, на які розділялося ПФР (кількість рівнів візуалізації ПФР), дорівнювала п'яти.

Як видно на рис. 2, за допомогою візуалізації ПФР можна виділити частини космічного знімка

з різною структурою та визначити на них межі аномальних ділянок, але неможливо автоматизувати процес визначення аномалій.

Порівняння візуального подання ПФР на рис. 2, а і б демонструє, що розміри космічних знімків за однакових параметрів побудови ПФР не впливають на якість візуалізації ПФР. На ПФР космічних знімків різних розмірів одного й того самого поля добре визначаються межі аномалій. Отже, візуалізація ПФР космічного знімка дає змогу оцінити ділянки поля з різними значеннями фрактальних розмірностей, які визначають різний тип підстильної поверхні.

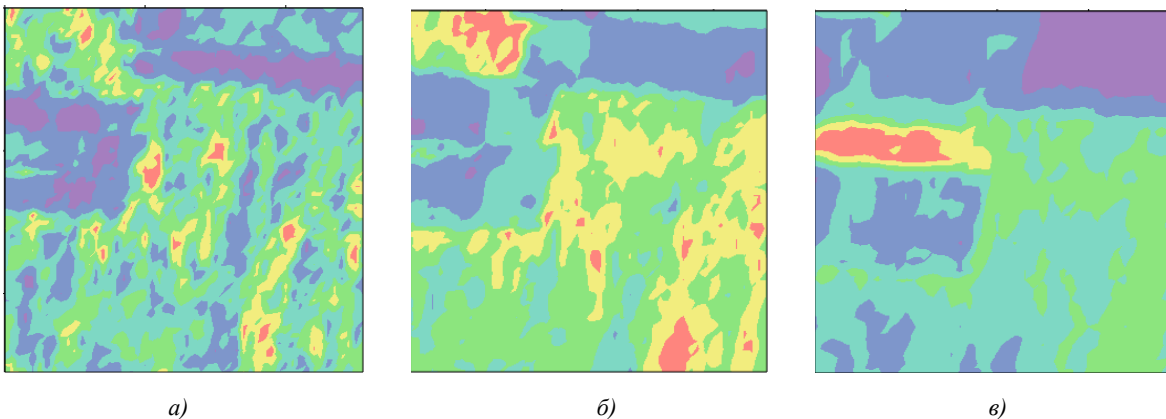
Розглянемо, як розмір "вікна" впливає на якість побудови ПФР і його візуалізацію.



**Рис. 2.** Візуалізація ПФР під час використання "вікна" розміром  $5 \times 5$  пікселів з кроком переміщення 1 піксель розміром  $51 \times 51$  піксель (а) і чотири розміром  $23 \times 23$  пікселі (б)

На рис. 3 наведено візуалізацію ПФР космічного знімка (рис. 1, б), побудованого з використанням "вікна" розміром  $5 \times 5$  пікселів (а), "вікна" розміром

$9 \times 9$  (б) і "вікна" розміром  $17 \times 17$  пікселів (в) з кроком переміщення 1 піксель. Кількість рівнів візуалізації ПФР дорівнювала п'яти.



**Рис. 3.** Візуалізація ПФР під час використання "вікна" розміром  $5 \times 5$  пікселів (а), "вікна" розміром  $9 \times 9$  (б), "вікна" розміром  $17 \times 17$  пікселів (в) з кроком переміщення 1 піксель

Як видно на рис. 3, в, збільшення розмірів "вікна" спричиняє згладжування візуального подання ПФР, що погіршує визначення меж аномальних ділянок на космічному знімку. Поряд з цим за умови незначних розмірів "вікна" (див. рис. 3, а) візуальне подання ПФР має велику кількість дрібних елементів, що ускладнює його аналіз і унеможливорює прийняття рішення щодо того, яка ділянка є аномальною. Застосування "вікна" середніх розмірів (див. рис. 3, б) дає змогу виокремити аномальні ділянки на космічній світлинці (синій колір), але на частині знімка, на якому немає аномалій, також виокремлюються особливості (червоний колір), що можна прийняти за аномальні.

Розглянемо як величина кроку переміщення "вікна" впливає на якість побудови ПФР та його візуалізацію.

На рис. 4 зображено візуалізацію ПФР космічного знімка (рис. 1, б), побудованого з використанням "вікна" розміром  $5 \times 5$  пікселів із кроком переміщення 5 пікселів (а), "вікна" розміром  $9 \times 9$  пікселів із кроком переміщення 9 пікселів (б) і "вікна" розміром  $17 \times 17$  пікселів із кроком переміщення 17 пікселів (в). Кількість рівнів візуалізації ПФР дорівнювала п'яти.

Порівняння візуального подання ПФР на рис. 3 і 4 демонструє, що величина кроку переміщення "вікна" за інших однакових параметрів побудови ПФР значно впливає на якість візуалізації ПФР. Так, під час використання "стрибаючого вікна" візуальне подання ПФР стає неефективним для визначення аномалій на космічному знімку. У разі незначного розміру "вікна" ( $5 \times 5$  пікселів, рис. 4, а)

спостерігається згладжування ПФР, але дві аномальні ділянки позначаються синім кольором. За умови збільшення розмірів "вікна" ( $9 \times 9$  пікселів, рис. 4, б)

до розмірів  $17 \times 17$  пікселів (рис. 4, в) узагалі неможливо проводити аналіз під час визначення аномальних ділянок на космічному знімку.

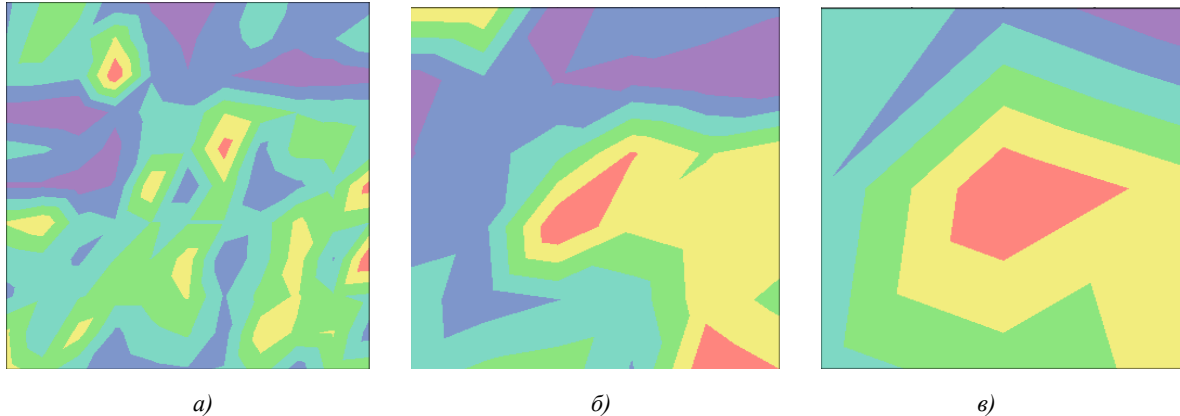


Рис. 4. Візуалізація ПФР за умови використання "вікна" розміром  $5 \times 5$  пікселів із кроком переміщення 5 пікселів (а), "вікна" розміром  $9 \times 9$  пікселів із кроком переміщення 9 пікселів (б), "вікна" розміром  $17 \times 17$  пікселів із кроком переміщення 17 пікселів (в)

Отже, аналіз продемонстрував, що сучасний стан виявлення аномалій на космічних знімках за допомогою побудови ПФР дає змогу визначити особливості підстильної поверхні. Але візуалізація ПФР космічного знімка стає неефективною в умовах використання "вікна" великих розмірів, а також використання "стрибаючого вікна" не дає змоги виявити аномальні ділянки на космічних знімках. Тобто під час візуалізації ПФР необхідно обирати параметри побудови ПФР залежно від типу поверхні, зображеної на космічних світлинах, і автоматизувати процес виявлення аномалій стає неможливим.

**Мета статті** – розглянути можливість автоматизованого визначення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель із застосуванням фрактального аналізу.

#### Метод виявлення аномалій з використанням "пірамідального" фрактального аналізу

Дослідження дають змогу запропонувати метод виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель із застосуванням "пірамідального" фрактального аналізу (структурну схему методу зображено на рис. 5).

На рис. 5 видно, що на першому етапі можна отримати космічні знімки з мережі Інтернет і визначити об'єкти дослідження – сільськогосподарські землі.

На другому етапі здійснюється вибір полів, які необхідно дослідити і які визначені замовником. На космічному знімку вони встановлюються візуально. На цьому етапі також можна визначити розмір зображення, наприклад,  $56 \times 56$  пікселів, і після цього вирізати зображення полів заданого розміру.

На третьому етапі створюється "піраміда" космічних знімків та індексуються отримані зображення. Тобто, наприклад, із зображення розміром  $56 \times 56$  пікселів (індекс 1) на першому рівні будується чотири зображення розміром  $28 \times 28$  пікселів (індекси 111, 112, 113, 114). На другому рівні "піраміди" будується 16 зображень розміром  $14 \times 14$  пікселів (індекси 11111, 11112, 11121, 11122, 11211, 11212, 11211, 11222, 11311, 11312, 11321, 11322, 11411, 11412, 11421, 11422), а на третьому рівні – 64 зображення розміром  $7 \times 7$  пікселів із відповідною індексацією. Створення "піраміди" космічних знімків рівнозначно застосуванню "стрибаючого вікна" під час побудови ПФР. У цьому разі величина кроку переміщення дорівнює розміру "вікна" на кожному рівні "піраміди".

На четвертому етапі розраховуються фрактальні розмірності "піраміди" космічних знімків. Величини фрактальних розмірностей можна визначити за методом покриття [14] або за методом призми [15]. У такий спосіб створюється індексована "піраміда" фрактальних розмірностей, яка зберігається в пам'яті комп'ютера.



Рис. 5. Структурна схема методу виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель із використанням "пірамідального" фрактального аналізу

На п'ятому етапі порівнюються величини фрактальних розмірностей на різних рівнях "піраміди" космічних знімків. Якщо фрактальні розмірності на нижчих рівнях "піраміди" не відрізняються за першим знаком після коми від фрактальних розмірностей на вищому рівні, тоді можна вважати, що аномалій на космічному знімку немає. Різниця фрактальних розмірностей за першим знаком після коми на різних рівнях "піраміди" дає змогу визначити аномальні ділянки на вихідному космічному зображенні поля за індексом "піраміди".

На шостому етапі визначаються мінімальні фрактальні розмірності на різних рівнях "піраміди" космічних світлин, які відповідають найбільш аномальним ділянкам.

На сьомому етапі узагальнюються результати виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель. У цьому разі за результатами фрактального аналізу визначається кількість аномальних ділянок та їх положення, а за величинами мінімальних фрактальних розмірностей виявляються найбільш аномальні ділянки на космічному зображенні.

**Результати дослідження та їх обговорення**

Розглянемо застосування розробленого методу для автоматизованого виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель.

Космічні світлини каналу b8 супутника Sentinel-2 отримано з мережі Інтернет. На знімках візуально обрано одне поле з пшеницею без аномалій і те саме поле з пшеницею з аномаліями в іншу дату. Визначено розміри поля на космічній світлині й вирізано зображення полів розміром 56×56 пікселів, які наведено на рис. 1, а і б. Далі створено "піраміду" космічних знімків та індексовано отримані зображення. За цими знімками розраховано фрактальні розмірності, визначені методом покриття. На рис. 6–9 подано космічні світлини поля з пшеницею без аномалій, що створюють "піраміду", а поряд з ними величини їх фрактальних розмірностей. Індксацію зображень наведено зверху й ліворуч від зображень, а також проіндексовано й фрактальні розмірності  $D$ .

На рис. 6 подано вихідний космічний знімок поля з пшеницею без аномалій розміром 56×56 пікселів і його фрактальну розмірність для "вікна" 56×56 пікселів.


<b>D</b>	<b>1</b>
1	 $D_1 = 2,912$

Рис. 6. Космічний знімок поля з пшеницею без аномалій розміром 56×56 пікселів, фрактальна розмірність для "вікна" 56×56 пікселів

Відповідно до рис. 6 на полі з пшеницею аномалії візуально не спостерігаються, а фрактальна розмірність дорівнює  $D_1=2,912$ . Тобто можна вважати, що фрактальна розмірність понад 2,9 ( $D>2,9$ ) визначає стан сільськогосподарських земель на космічних знімках без аномалій.

На рис. 7 подано чотири космічні зображення першого рівня "піраміди" розміром  $28\times 28$  пікселів та їх фрактальні розмірності.

На рис. 7 видно, що фрактальні розмірності трьох знімків ( $D_{111}=2,954$ ;  $D_{112}=2,969$ ;  $D_{121}=2,957$ ) перевищують фрактальну розмірність вихідного зображення  $D_1=2,912$  і на цих ділянках знімка аномалії не спостерігаються. Фрактальна розмірність четвертого знімка мінімальна ( $D_{122}=2,889$ ) і менша ніж  $D_1=2,912$ , але різниця не значна –  $\Delta D=0,023$ , і можна вважати, що аномалія на ньому також відсутня.


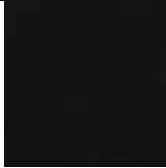


1	1	2
1	 $D_{111}=2,954$	 $D_{112}=2,969$
2	 $D_{121}=2,957$	 $D_{122}=2,889$

Рис. 7. Космічні знімки поля з пшеницею без аномалій розміром  $28\times 28$  пікселів, фрактальні розмірності для "вікна"  $28\times 28$  пікселів

На рис. 8 наведено 16 космічних знімків другого рівня "піраміди" розміром  $14\times 14$  пікселів та їх фрактальні розмірності.

Як видно на рис. 8, фрактальні розмірності всіх космічних знімків другого рівня "піраміди" перевищують  $D=2,9$ . Отже, можна зробити висновок, що аномалій на них немає. Необхідно зауважити, що фрактальні розмірності другого рівня "піраміди", які відповідають четвертому знімку першого рівня "піраміди", також перевищують  $D=2,9$  ( $D_{12211}=2,947$ ;  $D_{12212}=2,974$ ;  $D_{12221}=2,961$ ;  $D_{12222}=2,954$ ). Це підтверджує, що на вихідному космічному знімку аномалій немає.

На рис. 9 наведено частку космічних знімків третього рівня "піраміди" розміром  $7\times 7$  пікселів (16 знімків) та їх фрактальні розмірності. Ці космічні зображення відповідають першому верхньому лівому квадранту вихідного космічного знімка, поданого на рис. 6.

На рис. 8 видно, що фрактальні розмірності всіх космічних знімків третього рівня "піраміди" (як і другого рівня) більші за фрактальну розмірність  $D=2,9$ , що підтверджує висновок про відсутність аномалій на космічному зображенні.

Для спрощення узагальнення результатів виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель побудуємо "піраміду" фрактальних розмірностей космічної світлин поля з пшеницею (див. табл. 1).

Аналіз показників, поданих у табл. 1, демонструє, що фрактальні розмірності всіх космічних знімків всіх рівнів "піраміди" перевищують  $D=2,9$ , окрім фрактальної розмірності на першому рівні "піраміди" для нижнього правого квадранту вихідного космічного зображення.

Узагальнення фрактального аналізу космічного знімка поля з пшеницею дає змогу зробити висновок, що на ньому аномалій немає.







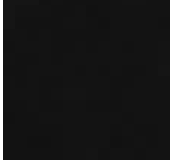



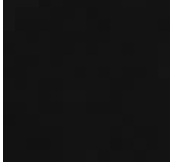

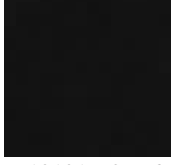

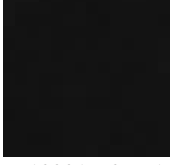
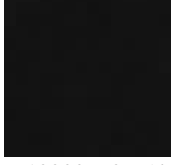
<b>11</b>	1	2	<b>12</b>	1	2
1	 $D_{11111} = 2,956$	 $D_{11112} = 2,957$	1	 $D_{11211} = 2,968$	 $D_{11212} = 2,960$
2	 $D_{11121} = 2,968$	 $D_{11122} = 2,964$	2	 $D_{11221} = 2,960$	 $D_{11222} = 2,974$
<b>21</b>	1	2	<b>22</b>	1	2
1	 $D_{12111} = 2,955$	 $D_{12112} = 2,963$	1	 $D_{12211} = 2,947$	 $D_{12212} = 2,974$
2	 $D_{12121} = 2,968$	 $D_{12122} = 2,970$	2	 $D_{12221} = 2,961$	 $D_{12222} = 2,954$

Рис. 8. Космічні знімки поля з пшеницею без аномалій розміром  $14 \times 14$  пікселів, фрактальні розмірності для "вікна"  $14 \times 14$  пікселів


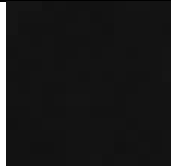














<b>111</b>	1	2	<b>112</b>	1	2
1	 $D_{1111111} = 2,956$	 $D_{1111112} = 2,971$	1	 $D_{1111211} = 2,997$	 $D_{1111212} = 2,950$
2	 $D_{1111121} = 2,941$	 $D_{1111122} = 2,976$	2	 $D_{1111221} = 2,955$	 $D_{1111222} = 2,973$
<b>121</b>	1	2	<b>122</b>	1	2
1	 $D_{11121} = 2,939$	 $D_{11121} = 2,963$	1	 $D_{1112211} = 2,976$	 $D_{1112212} = 2,966$
2	 $D_{11121} = 2,958$	 $D_{11121} = 2,950$	2	 $D_{1112221} = 2,970$	 $D_{1112222} = 2,973$

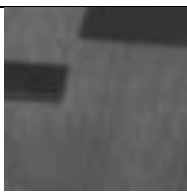
Рис. 9. Космічні знімки поля з пшеницею без аномалій розміром  $7 \times 7$  пікселів, фрактальні розмірності для "вікна"  $7 \times 7$  пікселів

**Таблиця 1.** "Піраміда" фрактальних розмірностей космічного знімка поля з пшеницею без аномалій для різних розмірів "вікна"

<b>D</b>	1				
1	2,912				
<b>1</b>	1	2			
1	2,954	2,969			
2	2,957	2,889			
<b>11</b>	1	2	<b>12</b>	1	2
1	2,956	2,957	1	2,968	2,960
2	2,968	2,964	2	2,960	2,974
<b>21</b>	1	2	<b>22</b>	1	2
1	2,955	2,963	1	2,947	2,974
2	2,968	2,970	2	2,961	2,954
<b>11</b>	1	2			
1	2,956	2,957			
2	2,968	2,964			
<b>111</b>	1	2	<b>112</b>	1	2
1	2,956	2,971	1	2,997	2,950
2	2,941	2,976	2	2,955	2,973
<b>121</b>	1	2	<b>122</b>	1	2
1	2,939	2,963	1	2,976	2,966
2	2,958	2,950	2	2,970	2,973

На рис. 10–13 наведено космічні світлини поля з пшеницею з аномаліями, що створюють "піраміду", а поряд з ними подано величини їх фрактальних розмірностей.

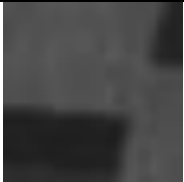
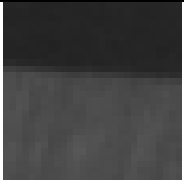
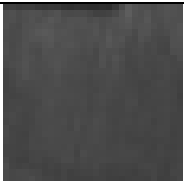
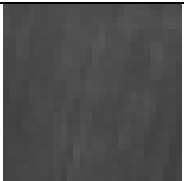
На рис. 10 запропоновано вихідний космічний знімок розміром  $56 \times 56$  пікселів і його фрактальна розмірність для "вікна"  $56 \times 56$  пікселів.

<b>D</b>	1
1	 $D_1 = 2,937$

**Рис. 10.** Космічний знімок поля з пшеницею з аномаліями розміром  $56 \times 56$  пікселів, фрактальна розмірність для "вікна"  $56 \times 56$  пікселів

Як видно на рис. 10, на полі з пшеницею візуально спостерігаються дві аномалії, але фрактальна розмірність становить  $D_1 = 2,937$ , тобто перевищує 2,9. Отже, величина фрактальної розмірності всього вихідного космічного знімка не дає змоги виявити аномалії на ньому. Вище зазначалося, що  $D > 2,9$  визначає стан сільськогосподарських земель на космічних світлинах без аномалій.

На рис. 11 подано чотири космічні знімки першого рівня "піраміди" розміром  $28 \times 28$  пікселів та їх фрактальні розмірності.

<b>1</b>	1	2
1	 $D_{111} = 2,901$	 $D_{112} = 2,885$
2	 $D_{121} = 2,926$	 $D_{122} = 2,948$

**Рис. 11.** Космічні знімки поля з пшеницею з аномаліями розміром  $28 \times 28$  пікселів, фрактальні розмірності для "вікна"  $28 \times 28$  пікселів

На рис. 11 видно, що фрактальні розмірності трьох зображень ( $D_{111} = 2,901$ ;  $D_{112} = 2,885$ ;  $D_{121} = 2,926$ ) менші, ніж фрактальна розмірність вихідного космічного знімка  $D_1 = 2,937$ , і на цих ділянках спостерігаються аномалії. Більш аномальні ділянки визначаються меншими фрактальними розмірностями. Мінімальна фрактальна розмірність  $D_{112} = 2,885$  відповідає другому космічному знімку, на якому аномалія займає майже половину зображення. Фрактальна розмірність четвертої світлини  $D_{122} = 2,948$  перевищує  $D_1 = 2,937$ , і можна вважати, що аномалії на ній немає.


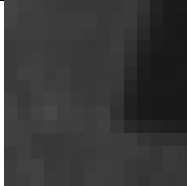

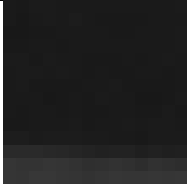
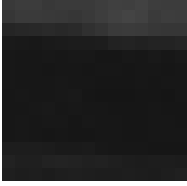
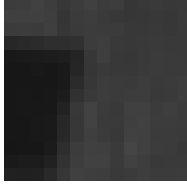
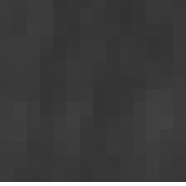
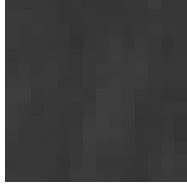
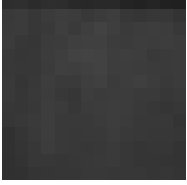
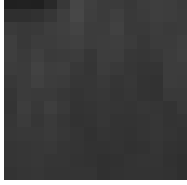
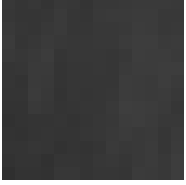
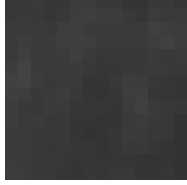
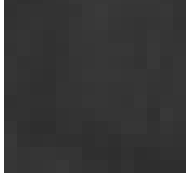
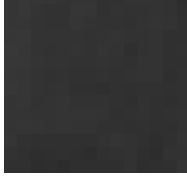
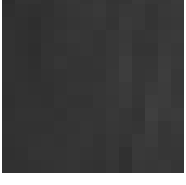
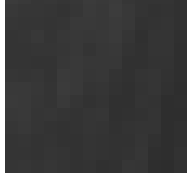
На рис. 12 подано 16 космічних знімків другого рівня "піраміди" розміром  $14 \times 14$  пікселів та їх фрактальні розмірності.

Як видно на рис. 12, три фрактальні розмірності світлин другого рівня "піраміди" ( $D_{11112} = 2,881$ ;  $D_{11121} = 2,680$ ;  $D_{11122} = 2,866$ ), що відповідають першому знімку першого рівня "піраміди", менші за фрактальну розмірність  $D_{111} = 2,901$ . Тому можна зробити висновок, що на них є аномалії. Мінімальна фрактальна розмірність  $D_{11121} = 2,680$  відповідає третьому космічному знімку, на якому аномалія поширена майже на всьому зображенні. Фрактальна розмірність першого космічного знімка другого рівня "піраміди" дорівнює  $D_{11111} = 2,966$ , що

перевищує  $D_{111}=2,901$ , і  $D=2,9$ , тобто на ньому аномалії відсутні.

Крім того, на рис. 12 видно, що дві фрактальні розмірності космічних знімків другого рівня "піраміди" ( $D_{11211}=2,735$ ;  $D_{11212}=2,786$ ), що відповідають другому знімку першого рівня "піраміди", менші за фрактальну розмірність  $D_{112}=2,885$  і на них є аномалії. Мінімальна

фрактальна розмірність  $D_{11211}=2,735$  відповідає першому космічному знімку, й аномалія на ньому найбільша. Також необхідно зазначити, що фрактальні розмірності третього й четвертого космічного знімка другого рівня "піраміди" дорівнюють  $D_{11221}=2,941$  і  $D_{11222}=2,957$ , які більші за  $D_{112}=2,885$  і  $D=2,9$ . Це відповідає відсутності аномалій на них.

11	1	2	12	1	2
1	 $D_{11111} = 2,966$	 $D_{11112} = 2,881$	1	 $D_{11211} = 2,735$	 $D_{11212} = 2,786$
2	 $D_{11121} = 2,680$	 $D_{11122} = 2,866$	2	 $D_{11221} = 2,941$	 $D_{11222} = 2,957$
21	1	2	22	1	2
1	 $D_{12111} = 2,938$	 $D_{12112} = 2,904$	1	 $D_{21211} = 2,956$	 $D_{12212} = 2,937$
2	 $D_{12121} = 2,955$	 $D_{21122} = 2,961$	2	 $D_{12221} = 2,929$	 $D_{12222} = 2,949$

**Рис. 12.** Космічні знімки поля з пшеницею з аномаліями розміром  $14 \times 14$  пікселів, фрактальні розмірності для "вікна"  $14 \times 14$  пікселів

Також три фрактальні розмірності космічних знімків другого рівня "піраміди" (див. рис. 12) ( $D_{12111}=2,938$ ;  $D_{12121}=2,955$ ;  $D_{21122}=2,961$ ), що відповідають третьому знімку першого рівня "піраміди", перевищують фрактальну розмірність  $D_{121}=2,926$ . Можна зробити висновок, що на них аномалій немає. Фрактальна розмірність другого космічного знімка другого рівня "піраміди" дорівнює  $D_{12112}=2,904$ , що незначно менше, ніж

$D_{121}=2,926$ , але перевищує  $D=2,9$ . І також можна дійти висновку, що на ньому аномалій немає.

Фрактальні розмірності всіх космічних світлин другого рівня "піраміди" (див. рис. 12), які відповідають четвертому знімку першого рівня "піраміди" більші за  $D=2,9$ , що дає змогу зробити висновок, що на них аномалії відсутні.

На рис. 13 наведено частку космічних знімків третього рівня "піраміди" розміром  $7 \times 7$  пікселів

(16 світлин) та їх фрактальні розмірності. Ці зображення відповідають першому верхньому лівому квадранту вихідного космічного знімку, поданого на рис. 10.

Як видно на рис. 13, фрактальні розмірності всіх космічних зображень третього рівня "піраміди", які відповідають першому знімку другого рівня "піраміди", перевищують  $D=2,9$ , тобто на них аномалій немає.

Крім того, на рис. 13 видно, що дві фрактальні розмірності космічних знімків третього рівня "піраміди" ( $D_{1111212}=2,792$ ;  $D_{1111222}=2,812$ ), які відповідають другій світлинці другого рівня "піраміди", менші за фрактальну розмірність  $D_{11112}=2,881$

і на них є аномалії. Найбільша аномалія спостерігається на другому космічному знімку, і йому відповідає мінімальна фрактальна розмірність  $D_{1111212}=2,792$ . Також необхідно зазначити, що фрактальні розмірності першого й третього космічного зображення третього рівня "піраміди" становлять  $D_{1111211}=2,944$  і  $D_{1111221}=2,885$ , тобто перевищують  $D_{11112}=2,881$ . Але фрактальна розмірність першого космічного знімка більша й за  $D=2,9$ , що відповідає відсутності аномалій на ньому, а фрактальна розмірність третього зображення наближена до  $D_{11112}=2,881$ , і на ньому є незначна аномалія.




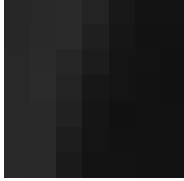
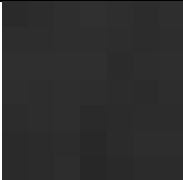
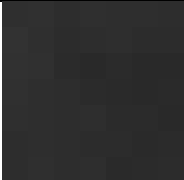


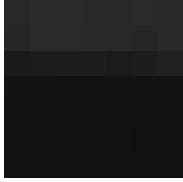
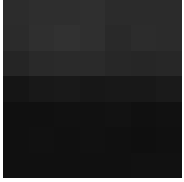






111	1	2	112	1	2
1	 $D_{1111111} = 2,943$	 $D_{1111112} = 2,950$	1	 $D_{1111211} = 2,944$	 $D_{1111212} = 2,792$
2	 $D_{1111121} = 2,964$	 $D_{1111122} = 2,946$	2	 $D_{1111221} = 2,885$	 $D_{1111222} = 2,812$
121	1	2	122	1	2
1	 $D_{1112111} = 2,705$	 $D_{1112112} = 2,721$	1	 $D_{1112211} = 2,791$	 $D_{1112212} = 2,947$
2	 $D_{1112121} = 2,873$	 $D_{1112122} = 2,903$	2	 $D_{1112221} = 2,646$	 $D_{1112222} = 2,902$

Рис. 13. Космічні знімки поля з пшеницею з аномаліями розміром  $7 \times 7$  пікселів, фрактальні розмірності для "вікна"  $7 \times 7$  пікселів

Дві фрактальні розмірності космічних знімків третього рівня "піраміди" (див. рис. 13) ( $D_{1112111}=2,705$ ;  $D_{1112112}=2,721$ ), що відповідають третій світлинці другого рівня "піраміди", близькі до фрактальної розмірності  $D_{11121}=2,680$ ,

і це свідчить про наявність на них аномалій. Мінімальна фрактальна розмірність  $D_{11121}=2,680$  відповідає третьому космічному знімку, на якому аномалія поширена майже на всій світлинці. Фрактальні розмірності третього й четвертого

космічних зображень третього рівня "піраміди" становлять  $D_{1112121}=2,873$  і  $D_{1112122}=2,903$ , що перевищує  $D_{11121}=2,680$  і  $D_{1112211}=2,791$ . Тобто можна вважати, що на них аномалій немає. Але зауважимо, що на четвертому космічному знімку аномалія, виявлена на вищих рівнях "піраміди", займає все зображення розміром  $7 \times 7$  і для цієї світлини не є відхиленням ( $D_{1112122}=2,903$  більше за  $D=2,9$ ).

Дві космічні світлини третього рівня "піраміди", що відповідають четвертому знімку другого рівня "піраміди" (див. рис. 13) мають фрактальні розмірності ( $D_{1112211}=2,791$ ;  $D_{1112221}=2,646$ ) менші, ніж  $D_{11122}=2,866$ , тобто на цих знімках є аномалії. Мінімальна фрактальна розмірність  $D_{1112221}=2,646$  свідчить, що найбільша аномалія є на третьому космічному зображенні. Фрактальні розмірності другого й четвертого космічних світлин третього рівня "піраміди" дорівнюють  $D_{1112212}=2,947$  і  $D_{1112222}=2,902$ , і вони є більшими за  $D_{11122}=2,866$  і  $D=2,9$ , тобто на цих знімках аномалій немає.

Результати виявлення аномалій на зображеннях сільськогосподарських земель узагальнимо за допомогою "піраміди" фрактальних розмірностей космічного знімка поля з пшеницею з аномаліями (див. табл. 2).

Аналіз показників, поданих у табл. 2, демонструє, що на першому рівні "піраміди" фрактальні розмірності першого, другого й третього космічних знімків менші за фрактальну розмірність усього вихідного космічного зображення. Це свідчить про наявність на них аномалій, а на четвертому зображенні аномалії відсутні (його фрактальна розмірність перевищує фрактальну розмірність усього вихідного космічного знімка).

Порівняння фрактальних розмірностей другого рівня "піраміди" (див. табл. 2) з фрактальними розмірностями першого рівня дає змогу локалізувати аномалії. Так, на першому космічному знімку першого рівня "піраміди" аномалія займає тільки три четверті зображення, на другому – половину, на третьому – четверть світлини, а на четвертому зображенні аномалій немає.

Третій рівень "піраміди" фрактальних розмірностей дає змогу продовжити аналіз аномалій (більш детально завдяки меншим розмірам знімків). У табл. 2 для прикладу наведено тільки четверту частину

фрактальних розмірностей третього рівня "піраміди", яка відповідає першому верхньому лівому квадранту вихідного космічного знімка. Перші чотири фрактальні розмірності третього рівня "піраміди" більші, ніж  $D=2,9$ , тобто на світлинах, які вони характеризують, аномалій немає. Аналіз других чотирьох фрактальних розмірностей третього рівня "піраміди" демонструє, що аномалія займає три четверті знімка вищого рівня. Треті чотири фрактальні розмірності показують, що аномалія поширена на половині світлини вищого рівня й розташована горизонтально, а четверті чотири фрактальні розмірності демонструють, що аномалія займає половину зображення вищого рівня вертикально. Але, як зазначалося раніше, четверта фрактальна розмірність четвертих чотирьох фрактальних розмірностей дорівнює  $D_{1112122}=2,903$ , що перевищує  $D=2,9$ , але цей космічний знімок розміром  $7 \times 7$  повністю заповнений аномалією, виявленою на вищих рівнях "піраміди".

Таблиця 2. "Піраміда" фрактальних розмірностей космічного знімка поля з пшеницею з аномаліями для різних розмірів "вікна"

<b>D</b>	1				
1	2,937				
<b>11</b>	1	2			
1	2,901	2,885			
2	2,926	2,948			
<b>111</b>	1	2	<b>12</b>	1	2
1	2,966	2,881	1	2,735	2,786
2	2,680	2,866	2	2,941	2,957
<b>21</b>	1	2	<b>22</b>	1	2
1	2,938	2,904	1	2,956	2,937
2	2,955	2,961	2	2,929	2,949
<b>111</b>	1	2			
1	2,966	2,881			
2	2,680	2,866			
<b>1111</b>	1	2	<b>112</b>	1	2
1	2,943	2,950	1	2,944	2,792
2	2,964	2,946	2	2,885	2,812
<b>121</b>	1	2	<b>122</b>	1	2
1	2,705	2,721	1	2,791	2,947
2	2,873	2,903	2	2,646	2,902

### Висновки й перспективи подальшого розвитку

Регулярний космічний моніторинг земель сільськогосподарського призначення найчастіше проводиться із застосуванням вегетаційних індексів, але їх використання не дає змоги оцінити аномалії

на космічних знімках, а також автоматизувати цей процес.

Оцінити складність структури космічної світлини (заповнення тривимірного подання знімка) можна за допомогою розрахунку фрактальної розмірності. Але візуалізація поля фрактальних розмірностей космічного зображення стає неефективною за умови використання "вікна" великих розмірів, а також застосування "стрибаючого вікна" не дає змоги виявити аномальні ділянки на космічних світлинах. Крім того, під час візуалізації ПФР необхідно обирати параметри побудови ПФР залежно від типу поверхні, й автоматизувати виявлення аномалій стає неможливим.

Запропоновано метод виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель з використанням "пірамідального" фрактального аналізу, який дає змогу автоматизувати цей процес. Під час створення "піраміди" космічних світлин вихідний знімок розподіляється на зображення менших розмірів, і вони індексуються. На кожному рівні "піраміди" розраховуються фрактальні розмірності й будується їх "піраміда", що рівнозначно застосуванню "стрибаючого вікна" під час побудови ПФР.

Продемонстровано, що, якщо фрактальні розмірності космічних знімків всіх рівнів "піраміди" перевищують  $D=2,9$  або фрактальні розмірності на нижньому рівні "піраміди" більші, ніж на верхньому рівні, тоді аномалій на космічному зображенні немає. Водночас, якщо фрактальні розмірності окремих ділянок нижнього рівня "піраміди" менші за фрактальні

розмірності на верхньому рівні й на вихідному космічному знімку, тоді на цих ділянках зображення спостерігаються аномалії.

У подальших дослідженнях доцільно розглянути можливість виявлення аномалій на космічних світлинах із використанням "ковзного вікна" під час розрахунку фрактальних розмірностей на кожному рівні "піраміди" космічних знімків

### Конфлікт інтересів

Автор декларує, що не має конфлікту інтересів, зокрема фінансового, особистого, авторського чи будь-якого іншого характеру, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, опубліковані в цій статті.

### Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

### Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних матеріалів у сховищі даних.

### Використання засобів штучного інтелекту

Автор підтверджує, що не застосовував технології штучного інтелекту для написання роботи.

### References

1. Yang, L., Lu, B., Schmidt, M., Natesan, S. et al. (2025), "Applications of remote sensing for crop residue cover mapping", *Smart Agricultural Technology*, No. 11, P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.1008080>
2. Tararik, O.G., Syrotenko, O.V., Iliencko, T.V., Kuchma, T.L. (2019), "Agroecological Satellite Monitoring", *Kyiv: Agrarian Science*, 204 p.
3. "Copernicus Europe's eyes on Earth, Sentinel-2. Copernicus Europe's eyes on Earth" [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/infrastructure/discover-our-satellites> – 26.12.2025.
4. Garajeh, M. K., Hassangholizadeh, K., Lomer, A. R. B., Ranjbari, A., et al. (2023), "Monitoring the impacts of crop residue cover on agricultural productivity and soil chemical and physical characteristics", *Scientific Reports*, No. 13-15054, P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42367-9>
5. Slobodjnik, M. P. (2014) "Prognostication productivity of agricultural cultures on materials of RSE and vegetations indexes", *Announcer of geodesy and cartography*, No. 6 (93), P. 16–20.
6. Maryushko, M. V., Pashchenko, R. E., Koblyuk, N. S. (2019), "Monitoring of agricultural crops using SENTINEL-2 satellite images", *Radioelectronic and Computer Systems*, No. 1 (89), P. 99–108. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2019.1.11>
7. Yue, J., Tian, Q. (2020), "Estimating fractional cover of crop, crop residue, and soil in cropland using broadband remote sensing data and machine learning", *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, No. 89, P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102089>
8. Sudheer, K. P., Gowda, P., Chaubey, I., Howell, T. (2010), "Artificial Neural Network Approach for Mapping Contrasting Tillage Practices", *Remote Sens*, No. 2, P. 579–590. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs2020579>

9. Feder, J. (1988), "Fractals", *New York: Springer US*, 263 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2124-6>
10. Dolya, G. N., Ivanov, V. K., Kuchuk, G. A., Pashchenko, R. E. et al. (2006), "Fractal analysis of processes, structures, and signals" / Ed. by R. E. Pashchenko, *Kharkiv: NEO Ekoperspektiva*, 348 p.
11. Pashchenko, R., Mariushko, M. (2020), "Analysis of the Earth's Surface Type in Remote Sensing Using Fractal Dimension", *IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), MRRS-2020*, P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/ukrmw49653.2020.9252811>
12. Pashchenko, R. E., Maryushko, M. V. (2023), "Estimation the state of different agricultural cultures with use fractal analysis", *Advanced Information Systems*, Vol. 7, Iss. 3, P. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.14>
13. Pashchenko, R. E., Maryushko, M. V. (2021), "Monitoring changes of agricultural earths state is from data of space imageries fractal analysis", *Control, navigation and communication systems*, Vol. 65, Iss. 3, P. 8–17. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.008>
14. Crownover, R. M. (1995), "Introduction to Fractals and Chaos", *London: Jones and Bartlett Publishers, Inc.*, 352 p.
15. Clarke, K. C. (1986), "Computation of the Fractal Dimension of Topographic Surface Using the Triangular Prism Surface Area Method", *Computers & Geosciences*, Vol. 12, No. 5, P. 713–722.

Received (Надійшла) 08.02.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.02.2026

Publication date (Дата публікації) 12.03.2026

#### Відомості про авторів / About the Authors

**Пашченко Руслан Едуардович** – доктор технічних наук, професор, Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, старший науковий співробітник відділу дистанційного зондування Землі; Харків, Україна;  
**Ruslan Pashchenko** – Doctor of Technical Sciences, Professor, O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Senior research scientist at the Department remote sensing of the Earth; Kharkiv, Ukraine;  
 e-mail: [r.pashchenko@khai.edu](mailto:r.pashchenko@khai.edu), [r.paschenko@i.ua](mailto:r.paschenko@i.ua)  
 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6218-0324>

## HYBRID MODELS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTOMATED ASSESSMENT TASKS FOR THE RELIABILITY OF INFORMATION SYSTEM VALIDATION RESULTS

**Abstract.** The modern methods of the agricultural earths space monitoring with use vegetation indexes do not allow to carry out estimation anomalies on spaces pictures and to automatize this process. **The subject** of the study is to assess possibility discovery anomalies on spaces pictures with use "pyramidal" fractal analysis. **The object** of the study is satellite images of agricultural earths with anomalies and without anomalies taken by the Sentinel-2 satellite. **The aim** is to consideration method of automated discovery anomalies on the agricultural earths spaces pictures with use fractal analysis. The following **results** were obtained. It is set that visualization the field of fractals dimensions space picture becomes not effective during use of large nesses "window" and also use of "jumping window" does not allow to define anomalous areas on spaces pictures. The method of discovery anomalies on the agricultural earths spaces pictures with use "pyramidal" fractal analysis which allows to automatize this process is offered. Creation "pyramid" of spaces pictures is carried out due to the division the base space picture on the less sizes pictures which in subsequent are indexed. At every level "pyramid" settle accounts fractal dimensions of spaces pictures and the "pyramid" fractals dimensions is built, that equivalently to application "jumping window" during construction the field of fractals dimensions. **Conclusions.** The conducted researches application the developed method of discovery anomalies showed that if fractals dimensions of all levels "pyramid" spaces pictures more fractal dimension of  $D = 2,9$ , or fractals dimensions at lower level "pyramid" more than at top level, anomalies on a space picture are not present. If fractals dimensions of separate areas lower level "pyramid" less fractals dimensions at top level and on an initial space picture, there are anomalies on these areas are present.

**Keywords:** monitoring of agricultural earths; anomaly; space picture; fractal analysis.

#### Бібліографічні опису / Bibliographic descriptions

Пашченко Р. Е. Автоматизоване виявлення аномалій на космічних знімках сільськогосподарських земель із використанням фрактального аналізу. *Автоматизовані системи управління та прилади автоматики*. 2026. № 1 (188). С. 177–190. DOI: <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2026.188.177>

Pashchenko, R. (2026), "Automated discovery anomalies on the agricultural earths spaces pictures with use fractal analysis", *Management Information System and Devices*, No. 1 (188), P. 177–190. DOI: <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2026.188.177>