

# Навігація та геоінформаційні системи

УДК 528.88 + 515.127.1

doi: 10.26906/SUNZ.2024.3.005

Р. Е. Пащенко<sup>1</sup>, М. В. Марюшко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут радіофізики та електроніки імені О. Я. Усикова НАН України, Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ЯСКРАВOSTI КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ВЕЛИЧИНИ ФРАКТАЛЬНИХ РОЗМІРНОСТЕЙ ТА ІНДЕКСІВ NDVI

**Анотація.** На якість проведення оцінки стану сільськогосподарських культур може впливати яскравість космічних знімків, що використовуються для моніторингу сільськогосподарських земель. **Предметом** дослідження є оцінка впливу яскравості космічних знімків на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI. **Об'єктом** дослідження є космічні знімки супутника Sentinel-2 сільськогосподарських культур з різною яскравістю. **Метою** є оцінка впливу яскравості космічних знімків полів, засіяних сільськогосподарськими культурами, на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI. **Отримані наступні результати.** Проведена оцінка максимальних і мінімальних значень яскравості при зміні яскравості вихідних знімків різних каналів (каналів b4 і b8) супутника Sentinel-2 та визначено, що для різних каналів супутника Sentinel-2 збільшення і зменшення яскравості по різному впливає на їх поведінку. Зміна діапазону яскравості на знімку при зміні яскравості також залежить від каналу супутника Sentinel-2. Досліджено вплив яскравості космічних знімків на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI. Визначено, що під час збільшення яскравості знімка середні значення індексів NDVI зменшуються. При цьому різниця у величині індексу NDVI відбувається у другому знаку після коми, що не дозволяє оцінювати стан посівів при великих значеннях яскравості за допомогою індексу NDVI. Під час зменшення яскравості середні значення індексів NDVI спочатку різко збільшуються, а потім досягають приблизно початкових значень, що дозволяє оцінювати стан посівів. Показано, що для знімка каналу b4 середні фрактальні розмірності під час збільшення яскравості спочатку збільшуються, а потім зменшуються, але значення змінюються не значно. При цьому різниця у величині фрактальної розмірності відбувається у третьому знаку після коми. Характер змін середніх фрактальних розмірностей під час зменшення яскравості знімка каналу b4 є не прогнозованим. Визначено, що середні значення фрактальних розмірностей знімка каналу b8 під час збільшення яскравості збільшуються монотонно і прогнозовано, а під час зменшення яскравості середні значення фрактальних розмірностей спочатку незначно зменшуються, а потім досягають початкових значень, що також можна прогнозувати. **Висновки.** Проведені дослідження показали, що застосування середніх фрактальних розмірностей для оцінки стану посівів дозволяє проводити аналіз космічних знімків при більшій зміні їх яскравості, порівняно з використанням середніх індексів NDVI.

**Ключові слова:** оцінка стану сільськогосподарських культур, яскравість космічного знімка, фрактальна розмірність, індекс NDVI.

### Вступ

Проводити аналіз впливу природних, техногенних і антропогенних факторів на посіви сільськогосподарських культур у теперішній час дозволяє агроекологічний моніторинг [1]. Такий моніторинг сільськогосподарських земель спрямований на отримання інформації про стан і структуру земельних ділянок та посівних площ. Крім того, необхідна оперативна оцінка їх стану для дослідження динаміки проведення сільськогосподарських робіт.

Останнім часом для моніторингу земель сільськогосподарського призначення дуже широко застосовуються космічні засоби дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Такі дані ДЗЗ з'явилися у вільному доступі у мережі Інтернет. Крім того, такі дані ДЗЗ (космічні знімки) мають високу роздільну здатність. Так, у мережі Інтернет існує актуальна та постійно поповнювальна база космічних знімків супутника Sentinel-2 [2, 3]. Ширококутові мультиспектральні зображення (13 спектральних діапазонів) супутників Sentinel-2 мають просторову роздільну здатність 10 м в одному пікселі [3], які можна отримувати 2 рази на тиждень

на задану територію. Таким чином, космічні знімки супутника Sentinel-2 можна застосовувати для вирішення різноманітних задач моніторингу земель сільськогосподарського призначення.

Найбільш часто для моніторингу сільськогосподарських земель використовуються методи обробки даних ДЗЗ (космічних знімків) з застосуванням різноманітних вегетаційних індексів (існує близько 160 варіантів таких індексів) [4]. При цьому вегетаційні індекси визначаються емпірично і враховують фізичні властивості світла, відбиваючу здатність рослин та інші важливі характеристики. Найбільше розповсюдження отримав нормалізований різнице-вий вегетаційний індекс (NDVI).

Для розрахунку індексу NDVI необхідно дані з ближнього інфрачервоного та червоного каналів, що отримуються з багатоспектральної апаратури супутників ДЗЗ. В роботі [5] приведені результати досліджень змін індексу NDVI різночасових космічних знімків сільськогосподарських земель і вказується, що використання даних з двох спектральних каналів для їх розрахунку, приводить до ускладнення отримання результатів. В роботі також зазначається, що

індекс NDVI у значній мірі залежить від кількості активної біомаси та стає неефективним в періоди, коли рослинність є послабленою або спостерігається низький рівень вегетації.

Для підвищення інформативності космічних знімків під час моніторингу різноманітних поверхонь, зокрема земної поверхні, застосовуються методи фрактального аналізу зображень [6, 7]. Розрахунок фрактальних розмірностей цифрових зображень з різною складністю поверхонь та рослинності приводить до різних їх величин, що дозволяє оцінити складність поверхонь і рослинності. При цьому використовуються космічні знімки в одному діапазоні хвиль. Можливість застосування фрактального аналізу космічних знімків супутника Sentinel-2 для оцінки стану сільськогосподарських культур на різних фазах вегетації показана у роботах [8, 9]. У роботі [8] проаналізовані поля, засіяні кукурудзою, а у роботі [9] – полів, засіяних іншими культурами (соняшником, пшеницею, ячменем і гречкою). Але у цих роботах не розглядається питання оцінки впливу яскравості космічних знімків на величини фрактальних розмірностей.

**Мета статті:** оцінити вплив яскравості космічних знімків полів, засіяних сільськогосподарськими культурами, на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI.

### Формування космічних знімків сільськогосподарських земель з різною яскравістю

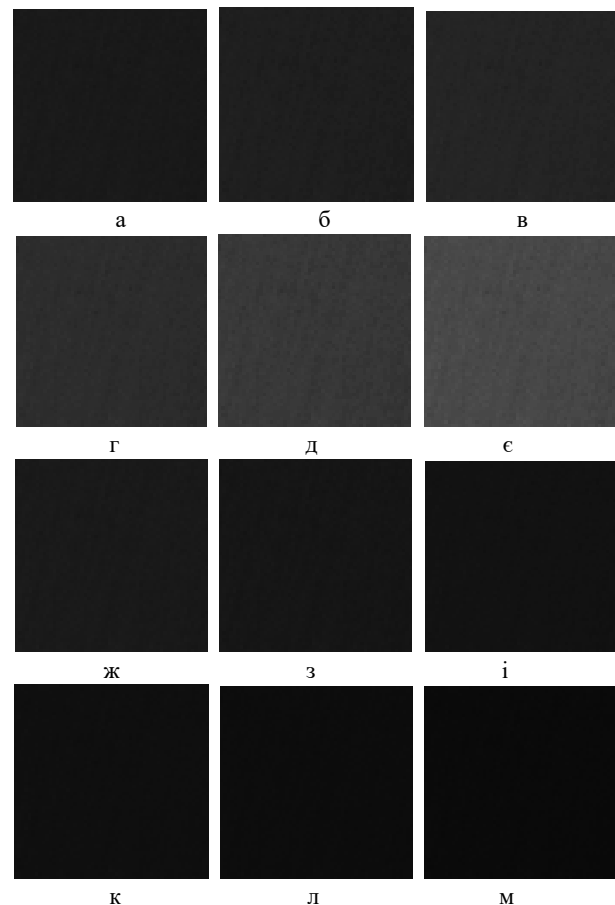
Щоб оцінити вплив яскравості космічних знімків сільськогосподарських культур на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI необхідно створити набір космічних знімків одного й того ж поля з різною яскравістю. З використанням комп'ютерної програми Microsoft Word 2013 було штучно створено набір елементів космічного знімка поля, засіяного кукурудзою, станом на 31.07.2016. Космічні знімки, які застосовувалися для дослідження були у градаціях сірого у форматі \*.bmp і мали розміри 56×56 пікселів для отримання однорідної структури поля на знімках.

Яскравість є світловою характеристикою тіл, відношення сили світла, яка випромінюється поверхнею, до площі її проєкції на площу, яка перпендикулярна віссі спостереження, іншими словами – це кількість білого кольору на зображенні. Чим вище яскравість, тим світлішим воно стає. Значення яскравості знаходяться у діапазоні від 0 до 255. Для того щоб яскравість можна було зменшувати та збільшувати, значення яскравості беруть у діапазоні від -255 до 255, а потім за формулою розраховують колір і переводять до діапазону від 0 до 255. Під час використання засобів настройки, програма Microsoft Word 2013 автоматично здійснює зміни в діапазоні яскравості.

Коротко розглянемо створення бази космічних знімків поля з різною яскравістю. Під час зміни яскравості космічного знімка здійснювалося його завантаження на сторінку програми Microsoft Word 2013. Після цього знімок виділявся і здійснювався перехід до вкладки «Робота з рисунками Формат». У групі «Змінити» (ліворуч на верхній панелі) вибиралась вкладка

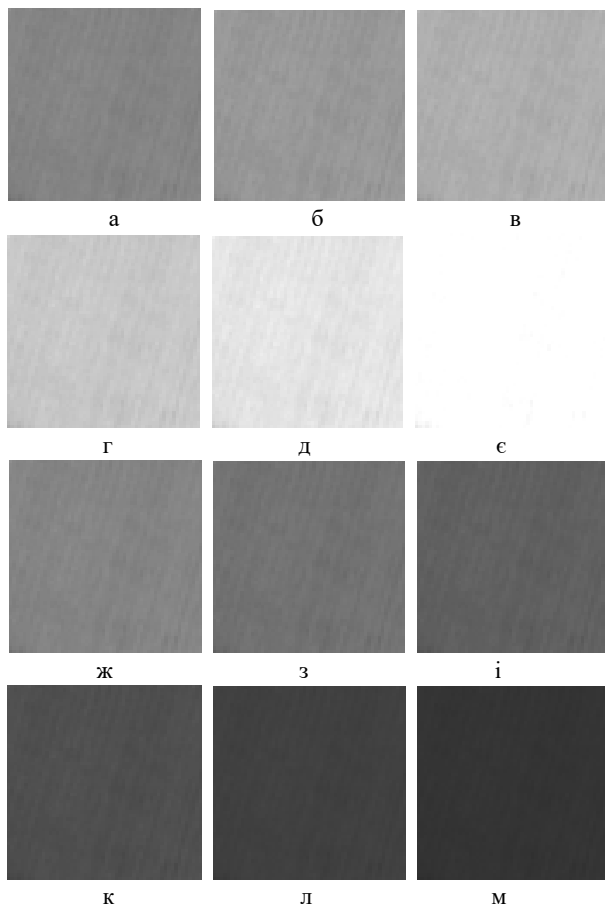
«Яскравість». Після її відкриття вибиралося потрібне значення контрастності (у відсотках). Позитивні значення відсотків збільшували яскравість знімка, а негативні – зменшували. Після проведення цих операцій, змінений знімок (з іншою яскравістю) виділявся і він зберігався з іншою назвою у форматі .bmp.

На рис. 1, а - м наведено елементи космічних знімків каналу b4 супутника Sentinel-2 поля з кукурудзою станом на 31.07.2016 при зміні яскравості від 0% до +50% і від 0% до -50%. Як видно з аналізу рис. 1, а - є, при збільшенні яскравості від 0% до +50% елементи космічних знімків каналу b4, як і повинно бути, стають більш світлими, але градієнт збільшення світлого на знімках не великий (відтінки сірого змінюються не значно). При зменшенні контрастності від 0% до -50% (див. рис. 1, ж - м) зміна яскравості на космічних знімках практично не спостерігається візуально. Скоріше за все, це обумовлено структурою космічних знімків каналу b4 супутника Sentinel-2. Таким чином, збільшення світлості знімка під час збільшення яскравості є не великою, а під час зменшення яскравості зміна світлості знімка візуально не спостерігається. Така поведінка зміни світлості знімка пов'язана з однорідністю космічного знімка каналу b4 і наявністю переважно темних пікселів на знімку (діапазон яскравості на знімку від 22 до 28 градацій).



**Рис. 1.** Елементи космічних знімків (канал b4) поля з кукурудзою при зміні яскравості у Microsoft Word: 0% (а), +10% (б), +20% (в), +30% (г), +40% (д), +50% (є), 0% (ж), -10% (з), -20% (і), -30% (к), -40% (л), -50% (м)

На рис. 2, а - м наведено елементи космічних знімків каналу b8 супутника Sentinel-2 поля з кукурудзою станом на 31.07.2016 при зміні яскравості від 0% до +50% і від 0% до -50%. Аналіз зображень на рис. 2, а - є показує, що для знімка каналу b8 при збільшенні яскравості від 0% до +50% спостерігається значне збільшення світлості знімка, а для значення +50% знімок стає повністю білим (255 градацій), тобто його можна вважати аномальним. Таке збільшення яскравості приводить до того, що знімок не має корисної інформації про стан рослинності. Зменшення контрастності знімка каналу b8 від 0% до -50% (рис. 2, ж - м) спостерігається очікуване затемнення знімку, що приводить до його згладжування. Така поведінка знімку приводить до втрати деяких особливостей поля.



**Рис. 2.** Елементи космічних знімків (канал b8) поля з кукурудзою при зміні яскравості у Microsoft Word: 0% (а), +10% (б), +20% (в), +30% (г), +40% (д), +50% (е), 0% (ж), -10% (з), -20% (і), -30% (к), -40% (л), -50% (м)

Розглянемо як змінюються максимальні і мінімальні яскравості на знімку під час збільшення і зменшення його яскравості. У табл. 1 наведено максимальні, мінімальні яскравості та їх різниця ( $\Delta$ ) на знімках двох каналів супутника Sentinel-2 (b4 і b8) поля з кукурудзою станом на 31.07.2016 при збільшенні яскравості від 0% до +50% у програмі Microsoft Word. Як видно з аналізу даних табл. 1, при збільшенні яскравості знімків обох каналів (каналів b4 і b8) максимальні і мінімальні яскравості та їх різниця збільшуються, але для каналу b4 збільшення не таке велике (в 3,5 рази менше), як для каналу b8. Також, при збільшенні яскравості знімка до +50% у каналі b8 спостерігаються максимально можливі значення яскравості – 255 градацій яскравості, а різниця максимальних і мінімальних значень яскравості зменшується, тобто, як зазначалося вище, знімок є аномальним і має білий колір. З аналізу даних у табл. 1 також видно, що під час збільшення яскравості знімків обох каналів одночасно збільшуються, як максимальні, так і мінімальні яскравості. Але значення максимальних яскравостей збільшуються більше у порівнянні з мінімальними. Це характерно для знімків обох каналів (знімок каналу b8 з яскравістю +50% є аномальним). Такі зміни яскравостей на вихідних знімках може привести до змін величин індексів NDVI та фрактальних розмірностей.

У табл. 2 наведено максимальні, мінімальні яскравості та їх різниця ( $\Delta$ ) на знімках двох каналів супутника Sentinel-2 (b4 і b8) поля з кукурудзою станом на 31.07.2016 при зменшенні яскравості від 0% до -50% у програмі Microsoft Word.

У табл. 2 наведено максимальні, мінімальні яскравості та їх різниця ( $\Delta$ ) на знімках двох каналів супутника Sentinel-2 (b4 і b8) поля з кукурудзою станом на 31.07.2016 при зменшенні яскравості від 0% до -50% у програмі Microsoft Word.

**Таблиця 1 – Максимальна і мінімальна яскравості та їх різниця на знімках поля з кукурудзою станом на 31.07.2016 при збільшенні яскравості**

Яскравість знімку	Яскравість					
	канал b4			канал b8		
	Мін.	Макс.	$\Delta$	Мін.	Макс.	$\Delta$
0%	22	28	6	112	142	30
+10%	26	33	7	130	162	32
+20%	31	40	9	151	185	34
+30%	38	49	11	174	211	37
+40%	48	61	13	201	241	40
+50%	62	79	17	233	255	22

**Таблиця 2 – Максимальна і мінімальна яскравості та їх різниця на знімках поля з кукурудзою станом на 31.07.2016 при зменшенні яскравості**

Яскравість знімку	Яскравість					
	канал b4			канал b8		
	Мін.	Макс.	$\Delta$	Мін.	Макс.	$\Delta$
0%	22	28	6	112	142	30
-10%	19	24	5	95	123	28
-20%	16	20	4	80	105	25
-30%	13	17	4	66	87	21
-40%	11	14	3	55	69	14
50%	9	11	3	44	56	12

З даних табл. 2 видно, що під час зменшення яскравості знімків каналів b4 і b8 максимальні і мінімальні яскравості та їх різниця зменшуються, але характер змін для обох каналів має деякі особливості порівняно із збільшенням яскравості. Так, максимальні і мінімальні яскравості каналу b4 одночасно практично не змінюються, як це було під час збільшення яскравості знімків. Для каналу b8 також є особливості у поведінці максимальних і мінімальних яскравостей. При цьому мінімальні яскравості зменшуються з різною дискретністю, а максимальні – з однаковою (18 градацій яскравості). У табл. 2 також видно, що при зменшенні яскравості знімка каналу b4 різниця  $\Delta$  практично однакова, діапазон яскравості змінюється у межах 3 – 5 градацій яскравості. Для каналу b8 різниця  $\Delta$  зменшується моно-

тонно. При цьому знімок каналу b8 з яскравістю - 50% не є аномальним. Як зазначалося вище, це пов'язано, скоріше за все, різною структурою і яскравістю вихідних знімків каналів b4 і b8.

Таким чином, проведений аналіз показує, що збільшення і зменшення яскравості впливає на поведінку їх максимальних і мінімальних значень на знімках для різних каналів (каналів b4 і b8) супутника Sentinel-2. Зміна діапазону яскравості на знімках також залежить від каналу супутника Sentinel-2. Проведемо аналіз впливу цих змін на величини індексів NDVI і фрактальних розмірностей.

### Вплив яскравості космічних знімків на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI

У теперішній час найчастіше для моніторингу сільськогосподарських земель використовуються вегетаційні індекси [4]. Більша частина вегетаційних індексів розраховується за допомогою двох діапазонів спектральної відбивної здатності рослин, які є найбільш стабільними і не залежать від інших чинників. Перший діапазон 0,62-0,75 мкм відповідає червоній зоні спектру, на якій спостерігається максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом. Другий діапазон 0,75-1,3 мкм є ближньою інфрачервоною зоною спектру, де відбувається максимальне відбиття енергії клітинною структурою листа. Низькі значення коефіцієнтів відбиття в червоній зоні спектру і великі значення в ближній інфрачервоній зоні обумовлені, як правило, великою фітомасою рослинності та її високою фотосинтетичною активністю. Нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI) у теперішній час використовується у традиційних методах розрізнення рослинності від інших природних об'єктів. Нормалізований різницевий вегетаційний індекс розраховується як [4]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

де  $NIR$  – 760-900 нм (ближня інфрачервона зона спектру, канал b8 супутника Sentinel-2 (832 нм);  $RED$  – 630-690 нм (видима червона зона спектру), канал b4 супутника Sentinel-2 (665 нм).

Під час проведення фрактального аналізу космічних (цифрових) знімків спочатку проводиться розрахунок фрактальних розмірностей і потім будується поле фрактальних розмірностей. Існує велика кількість методів розрахунку фрактальних розмірностей, але на практиці для аналізу цифрових знімків найчастіше використовується метод покриття [10]. Цей метод забезпечує розрахунок розмірності Гаусдорфа – Безиковича, яка описується виразом:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon$  – довжина сторони куба (максимальна довжина дорівнює розміру «вікна»), яким покривають тривимірне представлення цифрового знімка;  $N(\varepsilon)$  – кількість кубів, що накривають знімок.

Порядок визначення фрактальної розмірності за методом покриття докладно описано у [10], а у [7] – процес побудови поля фрактальних розмірностей. Під

час побудови поля фрактальних розмірностей проводиться сканування космічного знімка «вікном», розміром  $n \times m$  пікселів, з кроком переміщення  $s$  (при  $s = 1$  «вікно» є «ковзаючим», а при  $s > 1$  – «стрибаючим»). Для кожного положення «вікна» розраховується числове значення фрактальної розмірності у «вікні» і записується в матрицю  $D$ , яка називається «полем фрактальних розмірностей». У роботі під час побудови поля фрактальних розмірностей розміри елемента космічного знімка вибрані  $56 \times 56$  пікселів, а розміри «ковзаючого вікна» ( $s = 1$ ) дорівнюють  $n \times m = 4 \times 4$  пікселі. У роботах [5, 8] зазначалося, що найбільш інформативними під час оцінки стану сільськогосподарських культур є мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI і фрактальних розмірностей.

Розглянемо вплив яскравості космічного знімка на мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI і фрактальних розмірностей поля, засіяного кукурудзою. У табл. 3 наведено мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI знімка поля з кукурудзою станом на 31.07.16 при різній яскравості. Як видно з аналізу даних табл. 3, під час збільшення яскравості знімка середні значення індексів NDVI зменшуються. При цьому різниця у величині індексу NDVI відбувається у другому знаку після коми (за виключенням збільшенні яскравості до +50%). Тобто зміни індексу NDVI при великих значеннях яскравості не дозволяють оцінювати стан посівів. Зміни мінімальних і максимальних значень індексів NDVI мають такий же характер, але мінімальні значення зменшуються не так швидко, як максимальні значення індексів NDVI.

Під час зменшення яскравості середні значення індексів NDVI спочатку різко збільшуються, а потім досягають приблизно початкових значень (при яскравостях +40% і +50%). Такі зміни індексу NDVI дозволяють оцінювати стан посівів під час зменшення яскравості знімка. Мінімальні значення індексів NDVI під час зменшення яскравості поводяться не регулярно, спочатку зменшуються, потім збільшуються, далі зменшуються і знову збільшуються. Максимальні значення індексів NDVI поводяться регулярно, спочатку збільшуються, а потім монотонно зменшуються.

У табл. 4 наведено мінімальні, максимальні і середні значення фрактальних розмірностей (каналів b4 і b8) знімка поля з кукурудзою станом на 31.07.16 при різній яскравості. З даних табл. 4 видно, що характер змін мінімальних, максимальних і середніх значень фрактальних розмірностей для каналів b4 і b8 знімка поля з кукурудзою відрізняються між собою. Для знімка каналу b4 середні фрактальні розмірності під час збільшення яскравості спочатку збільшуються, а потім зменшуються, але значення змінюються не значно. При цьому різниця у величині фрактальної розмірності відбувається у третьому знаку після коми. Мінімальні і максимальні фрактальні розмірності знімка каналу b4 при збільшенні яскравості практично не змінюються. Під час зменшення яскравості знімка каналу b4 середні фрактальні розмірності спочатку зменшуються, а потім збільшуються і знову зменшуються.

Таблиця 3 – Значення індексу NDVI знімка поля з кукурудзою станом на 31.07.16 при різній яскравості

Яскравість знімку	Індекс NDVI		
	NDVI <sub>мін</sub>	NDVI <sub>макс</sub>	NDVI <sub>серед</sub>
0%	<b>0,612</b>	<b>0,701</b>	<b>0,679</b>
+10%	0,605	0,688	0,669
+20%	0,598	0,674	0,656
+30%	0,575	0,655	0,637
+40%	0,546	0,628	0,609
+50%	0,508	0,578	0,563
0%	<b>0,612</b>	<b>0,701</b>	<b>0,679</b>
-10%	0,610	0,708	0,686
-20%	0,616	0,707	0,686
-30%	0,610	0,706	0,682
-40%	0,618	0,704	0,677
-50%	0,600	0,697	0,680

Таблиця 4 – Значення фрактальної розмірності знімка поля з кукурудзою станом на 31.07.16 при різній яскравості

Яскравість знімку	Фрактальна розмірність					
	канал b4			канал b8		
	D <sub>мін</sub>	D <sub>макс</sub>	D <sub>серед</sub>	D <sub>мін</sub>	D <sub>макс</sub>	D <sub>серед</sub>
0%	<b>2,924</b>	<b>2,998</b>	<b>2,963</b>	<b>2,958</b>	<b>2,996</b>	<b>2,982</b>
+10%	2,921	2,997	2,964	2,960	2,997	2,983
+20%	2,923	2,997	2,969	2,964	2,997	2,985
+30%	2,923	2,998	2,966	2,965	2,998	2,986
+40%	2,923	2,998	2,963	2,967	2,998	2,986
+50%	2,926	2,998	2,966	2,991	3,000	3,000
0%	<b>2,944</b>	<b>2,994</b>	<b>2,973</b>	<b>2,958</b>	<b>2,996</b>	<b>2,982</b>
-10%	2,910	2,998	2,956	2,957	2,996	2,981
-20%	2,919	3,000	2,970	2,949	2,998	2,979
-30%	2,904	3,000	2,965	2,943	2,998	2,977
-40%	2,907	3,000	2,963	2,953	2,998	2,982
-50%	2,885	3,000	2,952	2,957	3,000	2,982

Різниця у величині фрактальної розмірності відбувається у другому знаку після коми. Тобто характер змін середніх фрактальних розмірностей не прогнозований. Мінімальні фрактальні розмірності знімка каналу b4 змінюються, як і середні фрактальні розмірності. Максимальні фрактальні розмірності під час зменшення яскравості спочатку збільшуються, а потім не змінюються.

Таким чином, розрахунок фрактальних розмірностей знімка каналу b4 під час збільшення яскравості знімка дає прогнозовані результати, але під час зменшення яскравості фрактальні розмірності поведуться не прогнозовано.

Середні значення фрактальних розмірностей знімка каналу b8 під час збільшення яскравості збільшуються монотонно і прогнозовано. При цьому різниця у величині фрактальної розмірності відбувається у третьому знаку після коми (за виключенням збільшенні яскравості до +50%). Мінімальні фрактальні розмірності знімка каналу b8 збільшуються прогнозовано (за виключенням знімка з яскравістю +50%), а максимальні – практично не змінюються..

Під час зменшення яскравості знімка каналу b8 середні значення фрактальних розмірностей спочатку незначно зменшуються, а потім досягають початкових значень. Різниця у величині фрактальної розмірності відбувається у третьому знаку після коми.

Мінімальні фрактальні розмірності знімка каналу b8 змінюються, як і середні фрактальні розмірності. Максимальні значення фрактальних розмірностей практично не відрізняються при різних значеннях яскравості знімка. Таким чином, під час збільшення або зменшення яскравості знімка каналу b8 значення фрактальних розмірностей знімка поведуться прогнозовано, а різниця у величині фрактальної розмірності відбувається у третьому знаку після коми.

Можна зробити загальний висновок, що при великих значеннях яскравості зміни індексу NDVI не дозволяють оцінювати стан посівів (різниця у величині індексу NDVI відбувається у другому знаку після коми). Але під час зменшення яскравості знімка зміни індексу NDVI дозволяють оцінювати стан посівів. Застосування середніх фрактальних розмірностей для оцінки стану посівів дозволяє проводити аналіз космічних знімків при більшій зміні їх яскравості, порівняно з використанням середніх індексів NDVI. Для оцінки стану посівів під час зміни яскравості знімків доцільно застосовувати космічні знімки каналу b8 супутника Sentinel-2 для яких розраховуються середні фрактальні розмірності.

## Висновки

Для моніторингу земель сільськогосподарського призначення дуже широко застосовуються космічні засоби ДЗЗ. У теперішній час дані ДЗЗ з'явилися у вільному доступі у мережі Інтернет і мають високу роздільну здатність. Різна яскравість космічних знімків може впливати на якість проведення оцінки стану сільськогосподарських культур.

Під час оцінки стану сільськогосподарських земель найбільш часто використовуються методи обробки космічних знімків з застосуванням різноманітних вегетаційних індексів, зокрема нормалізованого різницевого вегетаційного індексу NDVI. Але для розрахунку індексу NDVI необхідно дані з ближнього інфрачервоного та червоного каналів, що отримуються з багатоспектральної апаратури супутників ДЗЗ. Для підвищення інформативності космічних знімків під час моніторингу сільськогосподарських культур доцільно застосувати фрактальний аналіз, який базується на побудові поля фрактальних розмірностей. При цьому можуть використовуватися данні тільки з одного каналу супутника Sentinel-2 (канал b8). Різна яскравість космічних знімків полів, засіяних сільськогосподарськими культурами, приводить до необхідності проведення дослідження її впливу на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI.

Проведений аналіз показав, що збільшення і зменшення яскравості космічних знімків впливає на поведінку їх максимальних і мінімальних значень на знімках для різних каналів (каналів b4 і b8) супутника Sentinel-2. Зміна діапазону яскравості на знімках також залежить від каналу супутника Sentinel-2.

Під час збільшення яскравості знімка середні значення індексів NDVI зменшуються. При цьому різниця у величині індексу NDVI відбувається у другому знаку після коми (за виключенням збільшенні яскравості до +50%). Тобто зміни індексу NDVI при великих значеннях яскравості не дозво-

лять оцінювати стан посівів. Під час зменшення яскравості середні значення індексів NDVI спочатку різко збільшуються, а потім досягають приблизно початкових значень (при яскравостях +40% і +50%). Такі зміни індексу NDVI дозволяють оцінювати стан посівів під час зменшення яскравості знімка.

Для знімка каналу b4 середні фрактальні розмірності під час збільшення яскравості спочатку збільшуються, а потім зменшуються, але значення змінюються не значно. При цьому різниця у величині фрактальної розмірності відбувається у третьому знаку після коми. Середні фрактальні розмірності під час зменшення яскравості знімка каналу b4 спочатку зменшуються, а потім збільшуються і знову зменшуються, тобто характер змін середніх фрактальних розмірностей не прогнозований.

Середні значення фрактальних розмірностей знімка каналу b8 під час збільшення яскравості збільшуються монотонно і прогнозовано. При цьому

різниця у величині фрактальної розмірності відбувається у третьому знаку після коми (за виключенням збільшення яскравості до +50%). Під час зменшення яскравості знімка каналу b8 середні значення фрактальних розмірностей спочатку незначно зменшуються, а потім досягають початкових значень, що також можна прогнозувати. Застосування середніх фрактальних розмірностей для оцінки стану посівів дозволяє проводити аналіз космічних знімків при більшій зміні їх яскравості, порівняно з використанням середніх індексів NDVI. Для оцінки стану посівів під час змін яскравості знімків доцільно застосувати космічні знімки каналу b8 супутника Sentinel-2 для яких розраховуються середні фрактальні розмірності. Під час подальших досліджень, доцільно здійснити оцінку впливу контрастності космічних знімків полів, засіяних сільськогосподарськими культурами, на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Льєнко Т.В., Кучма Т.Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг. К.: Аграр. наука, 2019. 204 с.
2. Copernicus Europe's eyes on Earth, Sentinel-2. Copernicus Europe's eyes on Earth [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/infrastructure/discover-our-satellites> – 09.05.2024 р.
3. ESA Sentinel Online, Spatial Resolution. ESA Sentinel Online [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial> – 09.05.2024 р.
4. Черепанов А.С. Вегетационные индексы. Геоматика. 2011. № 2(11). С. 98 – 102.
5. Марюшко М.В., Пашенко Р.Е., Коблюк Н.С. Моніторинг сільськогосподарських культур із застосуванням космічних знімків SENTINEL-2. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2019. №1(89). С. 99 – 108. DOI: 10.32620/reks.2019.1.11.
6. Feder J. Fractals. New York: Springer US, 1988. 263 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2124-6>.
7. Доля Г.Н., Иванов В.К., Кучук Г.А., Пашенко Р.Э. и др. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов / Под. ред. Р.Э. Пашенко. Х.: "НЭО Экоперспектива", 2006. 348 с.
8. Марюшко М.В., Пашенко Р.Е. Фрактальный анализ космических снимков SENTINEL-2 для мониторинга сельскохозяйственных культур. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2020. №4(96). С. 34 – 47. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2020.4.03>.
9. Пашенко Р.Е., Марюшко М.В. Оцінка стану різних сільськогосподарських культур з використанням фрактального аналізу. Сучасні інформаційні системи. 2023. Том. 7, № 3. С. 81 – 88. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.12>
10. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.

Received (Надійшла) 20.03.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.06.2024

#### Estimation influencing brightness of agricultural cultures spaces pictures on sizes fractals dimensions and indexes NDVI

Ruslan Pashchenko, Maksim Mariushko

**Abstract.** Spaces pictures in-use for monitoring agricultural earths can have a different contrast that can influence on quality through estimation of the state agricultural cultures. The **subject** of the study in the article is estimation of influencing brightness spaces pictures on the sizes fractals dimensions and indexes NDVI. The **object** of the study is the spaces pictures of agricultural cultures satellite Sentinel-2 with a different brightness. The **goal** is estimation influencing brightness spaces pictures of the fields sown by agricultural cultures, on the sizes fractals dimensions and indexes NDVI. **The following results were obtained.** Conducted estimation maximal and minimum values of brightness at the change brightness initial pictures of the different channel (channel b4 and b8) satellite Sentinel-2 and it is certain that for the different ducting of satellite Sentinel-2 the increase and diminishing of brightness on different influences on their conduct. Change range of brightness on a picture at the change brightness also depends on the channel of satellite Sentinel-2. Influence brightness spaces pictures is investigational on the sizes fractals dimensions and indexes NDVI. It is certain that during the increase brightness picture the mean values indexes of NDVI diminish. Thus a difference in the size index of NDVI takes place in the second sign after a comma that does not allow to estimate the state of sowing at the large values brightness by the index NDVI. During diminishing brightness the mean values of indexes NDVI are at first sharply multiplied, and then achieve the initial values approximately, that allows to estimate the state of sowing. Show that for the picture channel b4 middle fractals dimension during the increase of brightness at first is increased, and then diminish, but the values change not considerably. Thus a difference in the size fractal dimension takes place in the third sign after a comma. Character changes of middle fractals dimensions during diminishing brightness of picture channel b4 it is not forecast. It is certain that mean values of fractals dimensions picture channel b8 during the increase brightness is increased droningly and forecast, and during diminishing brightness mean values of fractals dimensions at first insignificantly, and then achieve the initial values, that it is also possible to forecast. **Conclusions.** The conducted researches showed that application average fractals dimensions for estimation of the state sowing allows to conduct the analysis spaces pictures at the greater change their brightness as compared to the use average indexes NDVI.

**Keywords:** estimation the state of agricultural cultures, brightness of space picture, fractal dimension, index NDVI.