

Навігація та геоінформаційні системи

УДК 528.88 + 515.127.1

doi: 10.26906/SUNZ.2024.4.005

Р. Е. Пащенко¹, М. В. Марюшко²

¹ Інститут радіофізики та електроніки імені О. Я. Усикова НАН України, Харків, Україна

² Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

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

Анотація. Космічні знімки, які використовуються для моніторингу сільськогосподарських земель, можуть мати різну контрастність, що може впливати на якість проведення оцінки стану сільськогосподарських культур. **Предметом** дослідження є оцінка впливу контрастності космічних знімків на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI. **Об'єктом** дослідження є космічні знімки супутника Sentinel-2 сільськогосподарських культур з різною контрастністю. **Метою** є оцінка впливу контрастності 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 контрастності вихідних знімків різних каналів (каналів b4 і b8) супутника Sentinel-2 та визначено, що наявність рослинності на полі впливає на їх поведінку. Зміна діапазону яскравості на знімку при зміні контрастності також залежить від каналу супутника Sentinel-2 та наявності рослинності на полі. Досліджено вплив контрастності космічних знімків на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI. Визначено, що під час збільшення контрастності знімка мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI збільшуються, а під час зменшення контрастності – зменшуються. При цьому різниця у величині індексу NDVI складає близько 0,3. Якщо для оцінки стану посівів вибрати можливу зміну середнього індексу NDVI для різних полів у межах $\pm 0,1$, то при зміні контрастності більше $\pm 20\%$ приймати рішення про стан посівів стає неможливим. Показано, що середні фрактальні розмірності знімка каналу b8 при збільшенні контрастності зменшуються на 0,02, а при зменшенні контрастності – збільшуються на 0,01. Якщо для оцінки стану посівів вибрати можливу зміну середньої фрактальної розмірності для різних полів у межах $\pm 0,02$, то стан посівів при зміні контрастності можна оцінювати при зменшенні контрастності до -50% і при збільшенні контрастності – до $+40\%$. **Висновки.** Проведені дослідження показали, що застосування середніх фрактальних розмірностей для оцінки стану посівів дозволяє проводити аналіз космічних знімків при більшій зміні їх контрастності, порівняно з використанням середніх індексів NDVI.

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

Вступ

Моніторинг сільськогосподарських земель дозволяє регулярно отримувати інформацію про стан і структуру земельних ділянок та посівних площ. Крім того, агроекологічний моніторинг дозволяє оцінювати вплив природних, техногенних і антропогенних факторів на посіви сільськогосподарських культур [1].

У сучасних умовах динаміка проведення сільськогосподарських робіт потребує оперативної оцінки їх результатів і стану сільськогосподарських культур. Вирішення цих завдань забезпечує регулярний космічний моніторинг земель сільськогосподарського призначення. Останнім часом спостерігається тенденція зростання доступності до даних дистанційного зондування. Наприклад, космічні знімки Sentinel-2 надаються користувачам у вільному доступі через мережу Інтернет (існує актуальна та постійно поповнювальна база космічних знімків), що дозволяє їх застосування для вирішення різноманітних задач [2, 3]. Супутники Sentinel-2 дозволяють отримувати ширококутові мультиспектральні зображення з високим просторовим розпо-

ділом (в одному пікселі 10 м) за допомогою знімальної апаратури MSI (Multispectral Instrument) у 13 спектральних діапазонах [3]. Космічні знімки супутника Sentinel-2 на задану територію можна отримувати 2 рази на тиждень.

Велика кількість методів моніторингу сільськогосподарських земель базується на використанні вегетаційних індексів (існує близько 160 варіантів таких індексів) [4], які визначаються емпірично і враховують фізичні властивості світла, відбиваючу здатність рослин та інші важливі характеристики. Серед всіх існуючих індексів найбільше розповсюдження отримав нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI). В роботі [5] приведені результати досліджень змін індексу NDVI різночасових космічних знімків сільськогосподарських земель. У роботі вказується, що для розрахунку індексу NDVI необхідно дані з ближнього інфрачервоного та червоного каналів, що призводить до ускладнення отримання вихідного зображення. А також, індекс NDVI у значній мірі залежить від кількості активної біомаси та стає неефективним в періоди, коли рослинність є послабленою або спостерігається низький рівень вегетації.

Перспективним напрямком підвищення інформативності космічних знімків, які отримуються тільки в одному діапазоні хвиль, є застосування методів фрактального аналізу зображень [6, 7]. Різна складність поверхонь та рослинності приводить до різних форм цифрового зображення, складність яких можна кількісно оцінити за допомогою величини фрактальної розмірності. У роботі [8] на основі даних дистанційного зондування та використання ФР показана можливість розподілу різних типів ґрунтів, а у роботах [9, 10] показана можливість застосування фрактального аналізу космічних знімків супутника Sentinel-2 для оцінки стану посівів кукурудзи [9] та полів, засіяних іншими культурами (соняшником, пшеницею, ячменем і гречкою) [10] на різних фазах вегетації, але у цих роботах не розглядається питання оцінки впливу контрастності космічних знімків на величини

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

Формування космічних знімків сільськогосподарських земель з різною контрастністю

Для дослідження впливу контрастності космічних знімків сільськогосподарських культур на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI було штучно створено набір елементів космічного знімка поля, засіяного кукурудзою, з різною контрастністю. Для цього застосовувалася комп'ютерна програма Microsoft Word 2013. Знімки представлені у градаціях сірого у форматі *.bmp і мають розміри 56×56 пікселів. Розмір зображення 56×56 пікселів був вибраний з міркувань отримання однорідної структури поля на знімку.

Контрастність є відношенням найсвітліших областей зображення до найтемніших [11]. У програмі Microsoft Word 2013 контрастність регулюється за допомогою спеціальних шаблонів, які мають різні ступені експозиції. Експозиція, у свою чергу, визначає ступінь освітлення/затемнення. Під час використання засобів настройки, програма Microsoft Word 2013 автоматично здійснює зміни в діапазоні яскравості [11].

Для зміни контрастності космічного знімка, він завантажувалася на сторінку програми Microsoft Word 2013. Після цього знімок виділявся і здійснювався перехід до вкладки «Формат». У групі «Змінити» (ліворуч на верхній панелі) вибиралася вкладка «Корекція», і у вікні, що відкривалося, вибиралася вкладка «Параметри корекції рисунка». Після цього праворуч у вікні, що відкрилося, «Формат рисунка» на вкладці «Настройка рисунка» в області «Контрастність» вибиралося потрібне значення контрастності (у відсотках). Позитивні значення відсотків збільшують контрастність знімка, а негативні – зменшують. Зменшення контрастності приводить до розмиття знімка, а підвищення – до покращення чіткості знімка, але при цьому втрачаються плавні переходи на знімку, і збільшується його зернистість [11].

Після проведення цих операцій, змінений знімок (з іншою контрастністю) виділявся і він зберігався з іншою назвою у форматі .bmp.

При збільшенні контрастності від 0 до +50% елементи космічних знімків каналу b4 ставали більш темними, а при зменшенні контрастності від 0 до -50%, навпаки, більш світлими. Збільшення зернистості знімка під час збільшення контрастності і розмиття знімка під час її зменшення візуально не спостерігаються, що, скоріше за все, пов'язано з однорідністю космічного знімка і наявністю переважно темних пікселів на знімку каналу b4 (максимальна яскравість на вихідному знімку 28 градацій яскравості з 255 можливих).

Розглянемо як змінюються максимальні і мінімальні яскравості на знімку, що досліджується, під час збільшення і зменшення його контрастності.

У табл. 1 наведено максимальні, мінімальні яскравості та їх різниця (Δ) на знімках двох каналів супутника Sentinel-2 (b4 і b8) поля з кукурудзою станом на 31.07.2021 при збільшенні контрастності від 0% до +50% у програмі Microsoft Word.

Таблиця 1 – Максимальна і мінімальна яскравості та їх різниця на знімках поля з кукурудзою станом на 31.07.2021 при збільшенні контрастності

Контрастність знімку	Яскравість					
	канал b4			канал b8		
	Мін.	Макс.	Δ	Мін.	Макс.	Δ
0%	22	28	6	112	142	30
+10%	19	24	5	110	144	34
+20%	16	20	4	107	147	40
+30%	13	16	3	104	150	46
+40%	9	12	3	100	153	53
+50%	4	6	2	95	158	63

Як видно з аналізу даних табл. 1, при збільшенні контрастності знімка каналу b4 максимальні і мінімальні яскравості зменшуються, а діапазон яскравості (різниця) зростає у три рази з 6 градацій яскравості до 2. Як зазначалося вище, це пов'язано, скоріше за все, з переважною наявністю на знімку каналу b4 темних пікселів. Також у табл. 1 видно, що діапазон зміни яскравості на знімку каналу b4 дуже вузький і складає 6 градацій яскравості.

На відміну від знімка каналу b4 знімок каналу b8 (див. табл. 1 праворуч) є значно світлішим (максимальна яскравість на вихідному знімку 142 градації яскравості з 255 можливих) і має у 5 разів ширший діапазон зміни яскравості. Крім того, при збільшенні контрастності знімка каналу b8, максимальні яскравості на знімку збільшуються, а мінімальні – зменшуються, при цьому діапазон яскравості (різниця) розширюється більше ніж у два рази з 30 градацій яскравості до 63, що призводить до появи зернистості.

У табл. 2 наведено максимальні, мінімальні яскравості та їх різниця (Δ) на знімках двох каналів супутника Sentinel-2 (b4 і b8) поля з кукурудзою станом на 31.07.2021 при зменшенні контрастності від 0% до -50% у програмі Microsoft Word.

Таблиця 2 – Максимальна і мінімальна яскравості та їх різниця на знімках поля з кукурудзою станом на 31.07.2021 при зменшенні контрастності

Контрастність знімку	Яскравість					
	канал b4			канал b8		
	Мін.	Макс.	Δ	Мін.	Макс.	Δ
0%	22	28	6	112	142	30
-10%	26	32	6	114	140	26
-20%	30	38	8	116	138	22
-30%	37	45	8	117	137	20
-40%	47	55	8	119	136	17
50%	60	67	7	120	134	14

У табл. 2 видно, що при зменшенні контрастності знімка каналу b4 максимальні і мінімальні яскравості збільшуються, а діапазон яскравості (різниця) змінюється не значно з 6 градацій яскравості до 7 або 8.

Праворуч у табл. 2 також видно, що при зменшенні контрастності знімка каналу b8 максимальні яскравості на зображенні зменшуються, а мінімальні – збільшуються, але діапазон яскравості (різниця) звужується у два рази з 30 градацій яскравості до 14. Як зазначалося вище, це пов'язано, скоріше за все, різною структурою і яскравістю вихідних знімків каналів b4 і b8.

У табл. 3 наведено максимальні, мінімальні яскравості та їх різниця (Δ) на знімках двох каналів супутника Sentinel-2 (b4 і b8) поля, на якому була посіяна кукурудза станом на 22.10.2021 при збільшенні контрастності від 0% до +50% у програмі Microsoft Word, а у табл. 4 – при зменшенні контрастності від 0% до -50%. Тобто аналізувалися елементи знімків поля після збирання врожаю (при відсутності на полі рослинності).

Таблиця 3 – Максимальна і мінімальна яскравості та їх різниця на знімках поля, на якому була посіяна кукурудза станом на 22.10.2021 при збільшенні контрастності

Контрастність знімку	Яскравість					
	канал b4			канал b8		
	Мін.	Макс.	Δ	Мін.	Макс.	Δ
0%	53	77	24	68	89	21
+10%	47	71	24	62	84	22
+20%	41	64	23	55	78	23
+30%	34	57	23	48	71	23
+40%	26	48	22	39	63	24
+50%	17	38	21	29	53	24

Як видно з аналізу даних табл. 3, при збільшенні контрастності знімків обох каналів (каналів b4 і b8) максимальні і мінімальні яскравості зменшуються, а діапазон яскравості (різниця) змінюється не значно на 3 градації яскравості, але для каналу b4 різниця зменшується, для каналу b8 – збільшується на однакову величину.

Таким чином, характер зміни яскравості на космічних знімках двох каналів супутника Sentinel-2 залежить від наявності або відсутності на них рослинності.

У табл. 4 видно, що при зменшенні контрастності знімків каналів b4 і b8 максимальні і мінімальні яскравості збільшуються, а діапазон яскравості (різниця) зменшується на 10 градацій яскравості.

Таблиця 4 – Максимальна і мінімальна яскравості та їх різниця на знімках поля, на якому була посіяна кукурудза станом на 22.10.2021 при зменшенні контрастності

Контрастність знімку	Яскравість					
	канал b4			канал b8		
	Мін.	Макс.	Δ	Мін.	Макс.	Δ
0%	53	77	24	68	89	21
-10%	59	83	24	74	94	20
-20%	66	88	22	80	98	18
-30%	73	93	20	86	102	16
-40%	81	98	17	92	106	14
-50%	89	103	14	98	109	11

Таким чином, проведений аналіз показує, що наявність рослинності на полі впливає на поведінку максимальних і мінімальних значень яскравості при зміні контрастності вихідних знімків різних каналів (каналів b4 і b8) супутника Sentinel-2. Зміна діапазону яскравості на знімку при зміні контрастності також залежить від каналу супутника Sentinel-2 та наявності рослинності на полі. Проведемо аналіз впливу цих змін на величини індексів NDVI і фрактальних розмірностей.

Вплив контрастності космічних знімків на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI

Для моніторингу сільськогосподарських земель у теперішній час найчастіше використовуються вегетаційні індекси [4]. Розрахунок більшої частини вегетаційних індексів базується на двох найбільш стабільних (не залежних від інших чинників) ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин. На червону зону спектру (0,62-0,75 мкм) доводиться максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а на ближню інфрачервону зону (0,75-1,3 мкм) – максимальне відбиття енергії клітинною структурою листа. Тобто, висока фотосинтетична активність (зв'язана, як правило, з великою фітомасою рослинності) веде до нижчих значень коефіцієнтів відбиття в червоній зоні спектру і великим значенням в ближній інфрачервоній. Найбільше розповсюдження для розрізнення рослинності від інших природних об'єктів отримав нормалізований різницевої вегетаційний індекс (NDVI). Нормалізований різницевої вегетаційний індекс розраховується за виразом [4]:

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

де NIR – відбивальна інфрачервона область спектру (760-900 нм), що відповідає каналу b8 (832 нм) для супутника Sentinel-2; RED – видима червона область спектру (630-690 нм), що відповідає каналу b4 (665 нм) для супутника Sentinel-2.

До основних недоліків цього індексу відносять так зване «насичення» індексу при великій кількості

рослин і його виходом на плато, а також вплив відбивних властивостей поверхні ґрунтів на його величину при низькій зімкнутості рослин [5]. Крім того, на цей індекс впливає засміченість посівів на різних фазах вегетації по-різному. Все це приводить до додаткових похибок під час моніторингу сільськогосподарських культур.

Основою фрактального аналізу космічних (цифрових) знімків є побудова поля фрактальних розмірностей (ПФР). Процес побудови ПФР детально розглянуто у роботі [7]. Під час побудови ПФР проводиться сканування зображення «вікном», розміром $n \times m$ пікселів, з кроком переміщення s (при $s = 1$ «вікно» є таким, що «ковзає», а при $s > 1$ – що «стрибає»). Для кожного положення «вікна» визначається числове значення фрактальної розмірності у «вікні» і записується в матрицю D , яка називається «полем фрактальних розмірностей». Під час побудови ПФР у роботі розміри елемента космічного знімка складають 56×56 пікселів, а розміри «ковзаючого вікна» ($s = 1$) дорівнюють $n \times m = 4 \times 4$ пікселі.

На практиці найчастіше для аналізу цифрових знімків з використанням фрактальної розмірності застосовують метод покриття [12], який реалізує визначення розмірності Гаусдорфа – Безиковича, яка описується виразом:

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

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

Безпосередньо за цією формулою розрахувати фрактальну розмірність знімка підстильної поверхні неможливо. Порядок визначення фрактальної розмірності за методом покриття докладно описано у роботі [12]. У роботах [5, 9] зазначалося, що найбільш інформативними під час оцінки стану сільськогосподарських культур є мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI і фрактальних розмірностей.

Розглянемо вплив контрастності космічного знімка на мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI і фрактальних розмірностей поля, засіяного кукурудзою.

У табл. 5 наведено мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI, а у табл. 6 мінімальні, максимальні і середні значення і фрактальних розмірностей (каналів b4 і b8) знімка поля з кукурудзою станом на 31.07.21 при різній контрастності.

Як видно з аналізу даних табл. 5, при збільшенні контрастності знімка мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI збільшуються, а при зменшенні контрастності – зменшуються. При цьому різниця у величині індексу NDVI складає близько 0,3, тобто зміна відбувається у першому знаку після коми. Якщо для оцінки стану посівів вибрати можливу зміну середнього індексу NDVI для різних полів у межах $\pm 0,1$, то, як видно у табл. 5, при зміні контрастності більше $\pm 20\%$ приймати рішення про стан посівів стає неможливим.

Таблиця 5 – Значення індексу NDVI знімка поля з кукурудзою станом на 31.07.21 при різній контрастності

Контрастність знімку	Індекс NDVI		
	NDVI _{мін}	NDVI _{макс}	NDVI _{сеп}
0%	0,612	0,701	0,679
+10%	0,654	0,735	0,717
+20%	0,685	0,782	0,759
+30%	0,739	0,829	0,806
+40%	0,802	0,877	0,858
+50%	0,881	0,939	0,929
0%	0,612	0,701	0,679
-10%	0,572	0,657	0,636
-20%	0,517	0,607	0,584
-30%	0,453	0,542	0,517
-40%	0,376	0,458	0,434
-50%	0,290	0,362	0,337

Таблиця 6 – Значення фрактальної розмірності знімків поля з кукурудзою станом на 31.07.21 при різній контрастності

Контрастність знімку	Фрактальна розмірність					
	канал b4			канал b8		
	D _{мін}	D _{макс}	D _{сеп}	D _{мін}	D _{макс}	D _{сеп}
0%	2,924	2,998	2,963	2,958	2,996	2,982
+10%	2,933	3,000	2,975	2,953	2,996	2,980
+20%	2,906	3,000	2,952	2,944	2,995	2,977
+30%	2,904	3,000	2,948	2,937	2,995	2,973
+40%	2,891	3,000	2,956	2,925	2,996	2,969
+50%	2,850	3,000	2,933	2,914	2,993	2,963
0%	2,924	2,998	2,963	2,958	2,996	2,982
-10%	2,934	2,998	2,968	2,968	2,998	2,985
-20%	2,926	2,999	2,963	2,966	2,999	2,987
-30%	2,937	2,999	2,967	2,970	2,998	2,988
-40%	2,948	2,999	2,974	2,974	2,999	2,990
-50%	2,969	2,999	2,985	2,980	2,999	2,992

З даних табл. 6 видно, що характер змін мінімальних, максимальних і середніх значень фрактальних розмірностей для каналів b4 і b8 знімка поля з кукурудзою відрізняються між собою. Так для космічного знімка каналу b4 мінімальні і середні фрактальні розмірності при збільшенні контрастності спочатку збільшуються, а потім зменшуються. При зменшенні контрастності знімка каналу b4, навпаки, мінімальні і середні фрактальні розмірності спочатку зменшуються, а потім збільшуються. Тобто можна зазначити, що для космічних знімків каналу b4 спостерігається не монотонна зміна фрактальних розмірностей.

Для космічного знімка каналу b8 (див. табл. 6 праворуч) характер змін мінімальних і середніх фрактальних розмірностей більш прогнозований, при збільшенні контрастності вони зменшуються, а при зменшенні контрастності – збільшуються. У зв'язку з цим доцільно проводити аналіз стану посівів з використанням космічних знімків каналу b8 супутника Sentinel-2. Максимальні значення фрактальних розмірностей для обох каналів практично не відрізняються при різній контрастності знімка.

У табл. 6 також видно, що середні фрактальні розмірності знімка каналу b8 при збільшенні конт-

растності зменшуються на 0,02, а при зменшенні контрастності – збільшуються на 0,01, тобто зміна середніх фрактальних розмірностей відбувається у другому знаку після коми. Менші зміни середніх фрактальних розмірностей при зменшенні контрастності обумовлено згладжуванням знімка, тобто його порізанисть стає меншою.

Якщо для оцінки стану посівів вибрати можливу зміну середньої фрактальної розмірності для різних полів у межах $\pm 0,02$, то стан посівів при зміні контрастності можна оцінювати при зменшенні контрастності до -50% і при збільшенні контрастності – до $+40\%$.

Таким чином, застосування середніх фрактальних розмірностей для оцінки стану посівів дозволяє проводити аналіз космічних знімків при більшій зміні їх контрастності, порівняно з використанням середніх індексів NDVI.

У табл. 7 наведено мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI, а у табл. 8 мінімальні, максимальні і середні значення фрактальних розмірностей (каналів b4 і b8) знімка поля, яке було засіяно кукурудзою, станом на 22.10.21 при різній контрастності.

Таблиця 7 – Значення індексу NDVI знімка поля, яке було засіяно кукурудзою, станом на 22.10.21 при різній контрастності

Контрастність знімку	Індекс NDVI		
	NDVI _{мін}	NDVI _{макс}	NDVI _{сер}
0%	0,016	0,142	0,077
+10%	0,017	0,152	0,084
+20%	0,020	0,177	0,097
+30%	0,023	0,186	0,108
+40%	0,028	0,224	0,134
+50%	0,020	0,030	0,174
0%	0,016	0,142	0,077
-10%	0,014	0,133	0,069
-20%	0,013	0,115	0,058
-30%	0,012	0,104	0,048
-40%	0,011	0,084	0,039
-50%	0,005	0,067	0,031

Таблиця 8 – Значення фрактальної розмірності знімка поля, яке було засіяно кукурудзою, станом на 22.10.21 при різній контрастності

Контрастність знімку	Фрактальна розмірність					
	канал b4			канал b8		
	D _{мін}	D _{макс}	D _{сер}	D _{мін}	D _{макс}	D _{сер}
0%	2,934	2,994	2,970	2,936	2,994	2,974
+10%	2,928	2,993	2,968	2,922	2,993	2,971
+20%	2,919	2,992	2,964	2,908	2,993	2,965
+30%	2,907	2,991	2,959	2,897	2,992	2,959
+40%	2,887	2,989	2,950	2,880	2,990	2,952
+50%	2,852	2,995	2,939	2,840	2,988	2,939
0%	2,934	2,994	2,970	2,936	2,994	2,974
-10%	2,940	2,994	2,973	2,946	2,998	2,979
-20%	2,951	2,999	2,978	2,955	2,998	2,981
-30%	2,960	2,999	2,982	2,958	2,998	2,984
-40%	2,966	2,999	2,985	2,967	2,999	2,987
-50%	2,973	2,999	2,989	2,974	2,999	2,990

Аналіз даних табл. 7 і 8 показує, що у разі відсутності рослинності на полі при збільшенні контрастності знімка характер змін мінімальних, максимальних і середніх значень індексів NDVI та фрактальних розмірностей залишається таким же, як і при наявності посівів кукурудзи. При цьому зміна величин індексів NDVI знаходиться у діапазоні значень, що характеризують відсутність рослинності, тобто при зміні контрастності знімка буде прийматися правильне рішення про стан поля.

Характер і величина змін мінімальних і середніх значень фрактальних розмірностей космічного знімка каналу b8 при збільшенні контрастності також дозволяє приймати правильне рішення про стан поля, але при зменшенні контрастності знімка більше -20% середні значення фрактальних розмірностей не дозволяють правильно оцінити стан поля. Як зазначалося вище, це пов'язано із згладжуванням знімка (його меншою порізанистю), що приводить до збільшення середніх значень фрактальних розмірностей.

Таким чином, під час застосування середніх фрактальних розмірностей для оцінки космічних знімків полів при зміні контрастності необхідно брати до уваги пору року. Під час наявності рослинності на полі аналіз космічного знімка при зменшенні їх контрастності можливий, а при відсутності рослинності можливі помилки при зменшенні контрастності знімка більше -20% .

Висновки

Останнім часом для моніторингу сільськогосподарських земель все частіше використовуються космічні знімки, які є у вільному доступі у мережі Інтернет. Такі космічні знімки можуть мати різну контрастність, що може впливати на якість проведення оцінки стану сільськогосподарських культур.

Наявність рослинності на полі впливає на поведінку максимальних і мінімальних значень яскравості при зміні контрастності вихідних знімків різних каналів (каналів b4 і b8) супутника Sentinel-2. Зміна діапазону яскравості на знімку при зміні контрастності також залежить від каналу супутника Sentinel-2 та наявності рослинності на полі.

Велика кількість методів моніторингу сільськогосподарських земель базується на використанні вегетаційних індексів, зокрема нормалізованого різницевого вегетаційного індексу (індексу NDVI). Але для розрахунку вегетаційних індексів необхідні дані двох і більше спектральних діапазонів (багатоспектральні знімки). Також для оцінки змін стану сільськогосподарських культур застосовується фрактальний аналіз космічних знімків, який базується на побудові поля фрактальних розмірностей. При цьому під час побудови ПФР використовуються дані тільки з одного каналу супутника Sentinel-2 (канал b8).

Різна контрастність космічних знімків полів, засіяних сільськогосподарськими культурами, приводить до необхідності проведення дослідження впливу контрастності на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI.

Під час збільшення контрастності знімка мінімальні, максимальні і середні значення індексів NDVI збільшуються, а під час зменшення контрастності – зменшуються. При цьому різниця у величині індексу NDVI складає близько 0,3. Якщо для оцінки стану посівів вибрати можливу зміну середнього індексу NDVI для різних полів у межах $\pm 0,1$, то при зміні контрастності більше $\pm 20\%$ приймати рішення про стан посівів стає неможливим.

Середні фрактальні розмірності знімка каналу b8 при збільшенні контрастності зменшуються на 0,02, а при зменшенні контрастності – збільшуються на 0,01. Якщо для оцінки стану посівів вибрати можливу зміну середньої фрактальної розмірності для

різних полів у межах $\pm 0,02$, то стан посівів при зміні контрастності можна оцінювати при зменшенні контрастності до -50% і при збільшенні контрастності – до $+40\%$.

Застосування середніх фрактальних розмірностей для оцінки стану посівів дозволяє проводити аналіз космічних знімків при більшій зміні їх контрастності, порівняно з використанням середніх індексів NDVI.

Під час подальших досліджень, доцільно здійснити оцінку впливу яскравості космічних знімків полів, засіяних сільськогосподарськими культурами, на величини фрактальних розмірностей та індексів NDVI.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг. Київ: Аграр. наука, 2019. 204 с.
2. Copernicus Europe's eyes on Earth, Sentinel-2. Copernicus Europe's eyes on Earth. URL: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/infrastructure/discover-our-satellites> – 09.05.2023 р.
3. ESA Sentinel Online, Spatial Resolution. ESA Sentinel Online. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial> – 09.05.2023 р.
4. Черепанов А.С. Вегетационные индексы. *Геоматика*. 2011. № 2(11). С. 98 – 102.
5. Марюшко М.В., Пащенко 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](https://doi.org/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., Пащенко Р.Э. и др. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов / Под. ред. Р.Э. Пащенко. Харьков: “НЭО Эксперспектива”, 2006. 348 с.
8. Pashchenko R., Mariushko M. Analysis of the Earth's Surface Type in Remote Sensing Using Fractal Dimension. *IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), MRRS-2020*. 2020. – P. 1 – 4. DOI: [10.1109/ukrmw49653.2020.9252811](https://doi.org/10.1109/ukrmw49653.2020.9252811).
9. Марюшко М.В., Пащенко 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>.
10. Пащенко 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>
11. Настройка яркости, контрастности и резкости рисунка. *Microsoft support*. URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/office/настройка-яркости-контрастности-и-резкости-рисунка-48f8f54b-3db7-4652-8928-9ace995240c7>. – 09.11.2023 р.
12. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Постмаркет, 2000. 352 с.

Received (Надійшла) 25.05.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.09.2024

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

Ruslan Pashchenko, Maksym 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 contrast 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 contrast. The **goal** is estimation influencing contrast 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 contrast initial pictures of the different channel (channel b4 and b8) satellite Sentinel-2 and it is certain that the presence vegetation on the field influences on their conduct. Change range of brightness on a picture at the change contrast also depends on the channel of satellite Sentinel-2 and presences vegetation on the field. Influence contrast spaces pictures is investigational on the sizes fractals dimensions and indexes NDVI. It is certain that during the increase contrast picture the minimum, maximal and average values indexes NDVI are multiplied, and during diminishing contrast – diminish. Thus a difference in the size index NDVI makes about 0,3. If for estimation the state sowing to choose the possible change average index NDVI for the different fields in scopes $\pm 0,1$, at the change contrast anymore $\pm 20\%$ to make decision about the state of sowing becomes impossible. It is show that average fractals dimension picture of channel b8 at the increase contrast diminish on 0,02 and at diminishing contrast – Is increased on 0,01. If for estimation of the state sowing to choose the possible change average fractal dimension for the different fields in scopes $\pm 0,02$, that state sowing at the change of contrast it is possible to estimate at diminishing contrast to -50% and at the increase contrast – to $+40\%$. **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 contrast, as compared to the use average indexes NDVI.

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