

Ступень Р. М., д.е.н., доцент,

Рижок З. Р., к.е.н., доцент,

Ступень О. І., к.е.н., доцент,

Львівський національний університет природокористування

ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОЦІНКИ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Супутникові спостереження за Землею є наділеними високою тимчасовою роздільною здатністю, що дозволяють отримувати дані моніторингу біофізичних параметрів рослин [7]. Візуалізація даних спектрометра штучних супутників Землі (ШСЗ) забезпечує доступний потік даних, що вимагає точних і швидких методів обробки для отримання інформації про ріст і урожайність сільськогосподарських культур.

Для дослідження рослинного покриву використовують зв'язок спектральної відбивної здатності в різних діапазонах електромагнітного випромінювання зі структурою та станом рослинності. На основі цих спектральних залежностей побудовані вегетаційні індекси, за значеннями яких, можна відрізнити рослинний покрив від підстильної поверхні, а також встановлювати стан рослинності в залежності від її водності, пігментації, або фотосинтетичної активності [6].

У дослідженні Л. Гебрин-Байди [4] запропоновано методика, що враховує фізичні закони зв'язку між кількістю вмісту гумусу у ґрунті та його спектральною енергетичною яскравістю, яка інтерпретується на мультиспектральних космічних знімках на основі дослідження та встановлення статистичних лінійних регресійних залежностей.

Перед нами поставлено завдання обґрунтувати вибір спектральних індексів для оцінки стану урожайності сільськогосподарських культур на основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

У дистанційному зондуванні Землі спектральні індекси є частиною методів обробки супутникових знімків, що називають мультиспектральними перетвореннями. Вони полягають у перетворенні яскравості, вимірної супутниковим датчиком, у величини, що мають значення в області навколишнього середовища. Виходячи з природи багатоспектральних супутникових даних вони можуть описати стан навколишнього середовища. Спектральний індекс визначають, як «синтетичну, цифрову змінну, що характеризує інтенсивність або розширення надто складного природного явища, що необхідно розбити на кількість параметрів, якими можна керувати» [3].

Для супутникових знімків виділяють основні характеристики сенсорних систем штучних супутників Землі, що визначають придатність одержаних ними даних для вирішення того, чи іншого завдання, а саме спектральну, просторову, радіометричну та темпоральну розрізненість.

Спектральна розрізненість – це здатність сенсорної системи реєструвати електромагнітне випромінювання специфічного частотного діапазону, що визначають за допомогою кількості каналів штучного супутника Землі, тобто інтервалів довжини хвилі електромагнітного спектра, до яких чутливий сенсор. Умовно весь діапазон довжини хвиль, що використовують в дистанційному зондуванні Землі, можна поділити на чотири ділянки – радіохвилі, теплове випромінювання, інфрачервоне випромінювання та видиме світло. У залежності від спектральної розрізненості сенсорні системи ШСЗ поділяють на панхромні, багато-, мультиспектральні та гіперспектральні.

Просторова розрізненість представляє розмір найменшого об'єкта земної поверхні, що розрізняють на супутниковому знімку, яка відображає розмір пікселя. Класифікацію космічних знімків за просторовою розрізненістю проводять за поділом на:

- дуже низькі – 10 000-1 000 м;
- низькі – 30-1 000 м;
- середні – 10-30 м;
- високі – 1-10 м;
- дуже високі – 0,3-1 м.

Радіометрична розрізненість – це число можливих кодованих значень спектральної яскравості (біт) у файлі даних для кожної зони спектра ШСЗ, що визначається кількістю градації значень переходу кольорову від абсолютно «чорного» до абсолютно «білого». Його підвищення впливає на точність визначення коефіцієнтів спектрального відбиття та зниження рівня зашумленості на космічних знімках.

Темпоральна розрізненість – це проміжок часу, який минає між двома зйомками тієї самої території. Для супутників ДЗЗ її визначають за допомогою параметрів супутникової орбіти, наявної кількості парних супутників, а також ширини смуги зйомки сенсору [1].

Аналіз спектральної відбивної спроможності в окремих зонах спектра ШСЗ у багатьох випадках досліджень навколишнього середовища є недостатнім. Тому більш доцільним є застосування відношення, або різниці відбиття сонячного випромінювання у різних зонах спектра. Показники, що характеризують співвідношення відбиття в різних каналах

супутникової зйомки називають спектральними індексами, що широко застосовують при дистанційному зондуванні рослинного покриву [2].

Інструмент, що систематизує інформацію про усі спектральні індекси, які зараз існують, знаходиться на платформі Index Data Base (IDB), що є розміщеною в мережі інтернет за посиланням www.indexdatabase.de [5]. IDB передбачає застосування пошукових запитів для 519 спектральних індексів за 167 супутниковими сенсорами, а також 43 напрямками застосування у різних галузях народного господарства. До прикладу, спектральні індекси для оцінки урожайності сільськогосподарських культур наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Спектральні індекси для оцінки урожайності сільськогосподарських культур згідно з даними Index Data Base

№ п/п.	Назва спектрального індексу	Формула розрахунку	Результат
1	<u>Normalized Difference 800/680</u> <u>Pigment specific normalised difference A2, Lichtenthaler indices 1, NDVHyper</u>	$\frac{800nm - 680nm}{800nm + 680nm}$ $\frac{800nm - 680nm}{800nm + 680nm}$	
2	<u>Normalized Difference NIR/Red</u> <u>Normalized Difference Vegetation Index, Calibrated NDVI - CDVI</u>	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ $\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	RED=[670;50;30], NIR=[800;10;10]

Візуалізацію спектрального діапазону індексу Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index, Calibrated NDVI – CDVI, що характеризує щільність рослинності й дозволяє спрогнозувати урожайність сільськогосподарських культур, представлено на рис. 1.



Рис. 1 – Візуалізація спектрального діапазону індексу Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index, Calibrated NDVI – CDVI

Інформацію про популярні сенсори ШСЗ, що відрізняються між собою алгоритмом розрахунку спектрального індексу Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index, Calibrated NDVI – CDVI, подано у табл. 2.

Таблиця 2 – ШСЗ для спектрального індексу Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index, Calibrated NDVI – CDVI з даними Index Data Base

№ п/п	Штучний супутник Землі	Спектральний діапазон	Кількість смуг спектрального діапазону	Формула розрахунку
1	<u>ASTER</u>	520-11650	<u>15</u>	$\text{VNIR_Band3N} - \text{VNIR_Band2} / \text{VNIR_Band3N} + \text{VNIR_Band2}$
2	<u>GeoEye-1</u>	450-920	<u>5</u>	$\text{NIR1} - \text{Red} / \text{NIR1} + \text{Red}$
3	<u>IKONOS-2</u>	445-900	<u>5</u>	$\text{nahe_Infrarot} - \text{Rot} / \text{nahe_Infrarot} + \text{Rot}$
4	<u>INSAT-2E</u>	550-12500	<u>6</u>	$\text{CCD_Near_Infrared} - \text{CCD_Visible} / \text{CCD_Near_Infrared} + \text{CCD_Visible}$
5	<u>IRS-P3</u>	403-1650	<u>18</u>	$\text{MOS_B12} - \text{MOS_B8} / \text{MOS_B12} + \text{MOS_B8}$
6	<u>LandsatETM+ (Landsat7)</u>	450-12500	<u>8</u>	$\text{NIR} - \text{Red} / \text{NIR} + \text{Red}$
7	<u>QuickBird</u>	450-900	<u>5</u>	$\text{near_infrared} - \text{red} / \text{near_infrared} + \text{red}$
8	<u>RapidEye</u>	440-850	<u>5</u>	$\text{Near_Infrared} - \text{Red} / \text{Near_Infrared} + \text{Red}$
9	<u>WorldVieww-2</u>	400-1040	<u>9</u>	$\text{NIR1} - \text{Red} / \text{NIR1} + \text{Red}$
10	<u>WorldVieww-3</u>	400-2365	<u>29</u>	$\text{Near_IR1} - \text{Red} / \text{Near_IR1} + \text{Red}$

Окрім вегетаційного індексу Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index, Calibrated NDVI – CDVI при оцінці стану рослинності застосовують й інші спектральні індекси, інформацію про які наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Найбільш поширені спектральні індекси для оцінки стану рослинності

№ п/п	Назва спектрального індексу	Штучний супутник Землі	Формула розрахунку	Застосування
1	ARVI	Sentinel 2	$(\text{B08} - (\text{B04} - 1 * (\text{B02} - \text{B04}))) / (\text{B08} + (\text{B04} - 1 * (\text{B02} - \text{B04})))$	вегетаційний індекс стійкий до впливу атмосфери, що який використовують для корекції впливу атмосфери
2	EVI	Landsat 8	$2.5 * ((\text{B5} - \text{B4}) / ((\text{B5} + 6 * \text{B4} - 7.5 * \text{B2}) + 1))$	оптимізований індекс рослинності, призначений для посилення сигналу рослинності з поліпшеною чутливістю в регіонах з високою біомасою і поліпшеним моніторингом рослинності за рахунок зменшення впливу атмосфери

№ п/п	Назва спектрального індексу	Штучний супутник Землі	Формула розрахунку	Застосування
3	SIPI	Sentinel 2	$(B08-B02) / (B08-B04)$	дає змогу визначити початкову стадію хвороби рослин, являється хорошим індикатором для використання в районах з високою мінливістю структури рослинності
4	NDWI	Landsat 8	$(B3-B5) / (B3+B5)$	нормалізований різницевий водний індекс, що використовує відбите ближнє інфрачервоне випромінювання і видиме зелене світло, щоб посилити присутність елементів водних об'єктів, виключаючи при цьому наявність елементів ґрунту і наземної рослинності
5	Index Stack	Sentinel 2	$(B03-B11) / (B03+B11)$, $(B8A-B04) / (B8A+B04)$, $(B03-B08) / (B03+B08)$	відображає певні кольори у порівнянні до різних елементів ландшафту. Наприклад, рослинність стає зеленою, вода – фіолетовою, сніг/лід – пурпуровим, а ґрунт, камені і безплідна земля – синіми

Застосування технологій дистанційного зондування Землі дозволяє швидко вирішувати завдання народного господарства, у тому числі вивчати і прогнозувати урожайність вирощування сільськогосподарських культур. Отримання точної просторової інформації, згідно з даними космічних знімків, без збору наземних даних дозволяє істотно скоротити фінансові та часові витрати, інтегрувати спектральні індекси в геоінформаційне програмне середовище для подальшого їхнього аналізу та інтерпретації одержаних результатів.

Список використаних джерел:

1. Довгий С. О., Бабійчук С. М., Кучма Т. Л. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах: навч.-метод. посібн. Київ, 2020. 268 с.
2. Онлайн-довідник зі спектральних індексів IDB: вся інформація зі спектральних індексів в одному місці. URL <http://www.50northspatial.org/ua/idb-remote-sensing-indices-database/>.
3. Caloz R., Collet C. Précis de la télédétection. Traitement d'images numériques de télédétection, Production d'images non spectrales, Propriétés des indices. 2001. № 3. P. 217-270.
4. Gebryn-Baydi L. Application of remote sensing methods to evaluation of soil fertility indicators of Zakarpattia lands. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2017. № 85. С. 42-52.

5. Index Data Base. URL: <https://www.indexdatabase.de/>.
6. Karnieli A., Agam N., Pinker R., Anderson M., Imhoff M. L., Gutman G., Panov N., Goldberg A. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *J. Climate*. 2010. № 23. P. 618-633.
7. Rivera J., Verrelst J., Delegidot J., Veroustraete F., Moreno, J. On the Semi-Automatic Retrieval of Biophysical Parameters Based on Spectral Index Optimization. *Remote Sens*. 2014. № 6. P. 4927-4951. URL: <https://doi.org/10.3390/rs6064927>.