

УДК 528.854:528.88

С. С. Кохан

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ НА ОСНОВІ СЕРІЇ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ IRS-1D LISS-III ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ПОСІВІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Розроблено шкалу густоти посівів сільськогосподарських культур на основі використання значень NDVI із серії космічних знімків IRS-1D LISS-III, одержаних протягом весняно-літнього періоду та з урахуванням наземних даних спостережень.

ВСТУП

Використання аерокосмічних засобів дистанційного зондування Землі дає можливість забезпечити об'єктивну і достовірну інформацію щодо екологічних умов, властивостей та стану агро-екосистем, просторової структури природно-територіальних комплексів, їхньої динаміки, в тому числі сприяє накопиченню даних для створення та розробки систем моніторингу природних ресурсів та агроресурсів [1].

Провідними складовими моніторингу агроресурсів є:

- проведення спостережень за станом агроресурсів, визначення чинників впливу на них та факторами взаємодії;

- контроль стану агроресурсів та їхньої динаміки;

- оцінка стану та прогноз стану агроресурсів.

До важливих задач сучасного розвитку агропромислового комплексу належить прийняття і впровадження управлінських рішень щодо контролю та оцінки стану посівів сільськогосподарських культур за фазами вегетації на різних рівнях господарювання — від локального (базового) до національного рівня; визначення строків дозрівання посівів та контроль продуктивного процесу культур; контроль сільськогосподарських робіт.

Застосування аерокосмічного моніторингу забезпечує можливість розробки інформаційної бази для прогнозу стану і розвитку рослинництва. Сучасні космічні системи набули широкого застосування у моніторингу агроресурсів у країнах СНД, Європейського союзу, Північної та Південної Америки. Спектр задач моніторингу постійно розширюється поряд із появою нових серій супутників та сенсорів. У дослідженнях агроресурсів широкого використання набули дані, одержані на основі мультиспектральних сенсорів із супутників «RapidEye», SPOT 5, IRS-P6, «Terra/Aster». Великий доробок науковців присвячено використанню даних супутників «Landsat 7/ETM+», «Landsat 5 TM», «Terra/Modis» [2, 3, 6–8].

ДЖЕРЕЛА ДАНИХ ТА МЕТОДИ

Використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) забезпечує визначення об'єктивного стану культур (густоти, кількісних і якісних змін посівів, одержання інформації щодо проведення обробок засобами хімізації) на великих площах. Використання поряд з цим даних наземних досліджень виступає обов'язковою умовою ефективного дешифрування аерокосмічних даних. Тому розробка показників та їхніх характеристик про стан сільськогосподарських культур на основі комплексу наземних спостережень і використання даних ДЗЗ є важливою складовою ефективного застосування аерокосмічних ме-

тодів у дослідженнях агроресурсів. Наземні спостереження виступають цілісним комплексом характеристик, які включають специфічні ознаки культур у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах з урахуванням фаз росту і розвитку культур, агротехнологій, аномальних явищ, впливу несприятливих факторів навколишнього середовища тощо.

В основу даного дослідження покладено завдання розробки шкали стану культур на основі використання наземних спостережень та серії мультиспектральних знімків протягом весняно-літнього періоду вегетації культур. Збір наземних даних проводили в основні фази росту і розвитку досліджуваних культур синхронно з космічними зніманнями.

Використання даних ДЗЗ у дослідженнях агроресурсів значно залежить від строків одержання знімків у мультиспектральному діапазоні для вивчення змін відбивальної здатності посівів та визначення вегетаційних індексів. У проведених дослідженнях використані космічні знімки, одержані із супутника IRS-1D LISS-III протягом травня — серпня 2008 р. Просторове розрізнення — 23 м. Територія досліджень — Маньківська державна сортовипробувальна станція (центральний правобережний лісостеп) та виробничий підрозділ Агрономічна дослідна станція Національного університету біоресурсів і природокористування України (Київська область, північний лісостеп). Попередня обробка космічних знімків проводилась за допомогою програм «Erdas Imagine v.9.3», трансформування зображень і тематична обробка — в «Idrisi Taiga».

РЕЗУЛЬТАТИ

Використання вегетаційного індексу нормалізованої різниці (NDVI) як одного із найбільш поширених та обґрунтованих науковцями індексів пов'язане насамперед з його здатністю характеризувати густоту рослинного покриву, що дозволяє дати оцінку схожості культур, обґрунтувати продуктивність посівів та угідь. На величину індексу впливає тип рослинності, зімкнутість рослин, стан, експозиція та кут нахилу поверхні.

Перш ніж використовувати вегетаційний індекс NDVI, слід врахувати, що одна нормалізо-

вана різниця двох спектральних каналів містить лише частину первинної інформації, яка може бути необхідною для оцінки стану рослинності, а сам індекс надає ту частку інформації, що наявна у первинних даних спектрального відбиття. Тому будь-які вегетаційні індекси не забезпечують абсолютних кількісних показників властивостей рослинності, а їхні значення залежать від великої кількості чинників (просторового розрізнення, умов зйомки, стану атмосфери тощо). Одержані на основі вегетаційних індексів відносні характеристики властивостей рослинності інтерпретують з урахуванням наземних даних, одержаних при конкретних польових дослідженнях.

Для кількісного порівняння знімків та аналізу об'єктів дешифрування здійснено переведення «сирих значень» (DN) у фізичні одиниці для усунення впливу різної освітленості, зумовленої геометрією зйомки, впливу рельєфу, атмосфери, усунення дефектів зображення з використанням характеристик, наданих у файлі метаданих.

Для конвертування «сирих значень» у значення випромінення на сенсорі ми використовували такі параметри: діапазон значень DN у зображенні ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \text{стер}^{-1} \text{мкм}^{-1}$); найнижче і найвище значення випромінення на сенсорі (L_{\min} , L_{\max}). У своїй більшості значення L_{\min} представлені спектральним випроміненням, що відповідає мінімальному значенню DN (звичайно дорівнює 0). Випромінення L_{\max} відповідає максимальному значенню DN. При проведенні радіометричної корекції зображень спектральних каналів використано підходи, обґрунтовані в роботах [4, 5].

На рис. 1 представлені «сирі» і відкалібровані дані спектральної яскравості (СЯ) в інфрачервоному каналі для різних груп культур протягом весняно-літнього періоду. Для зернових культур відмічається тенденція суттєвого зниження СЯ після проведення калібрування у весняний період. Характерним було варіювання випромінення для озимої пшениці залежно від попередника, що свідчить про накопичення потужнішої біомаси рослинами пшениці після гороху та гірчиці. Для цукрового буряку та соняшнику спостерігалось зростання випромінення у період максимального накопичення надземної біомаси.

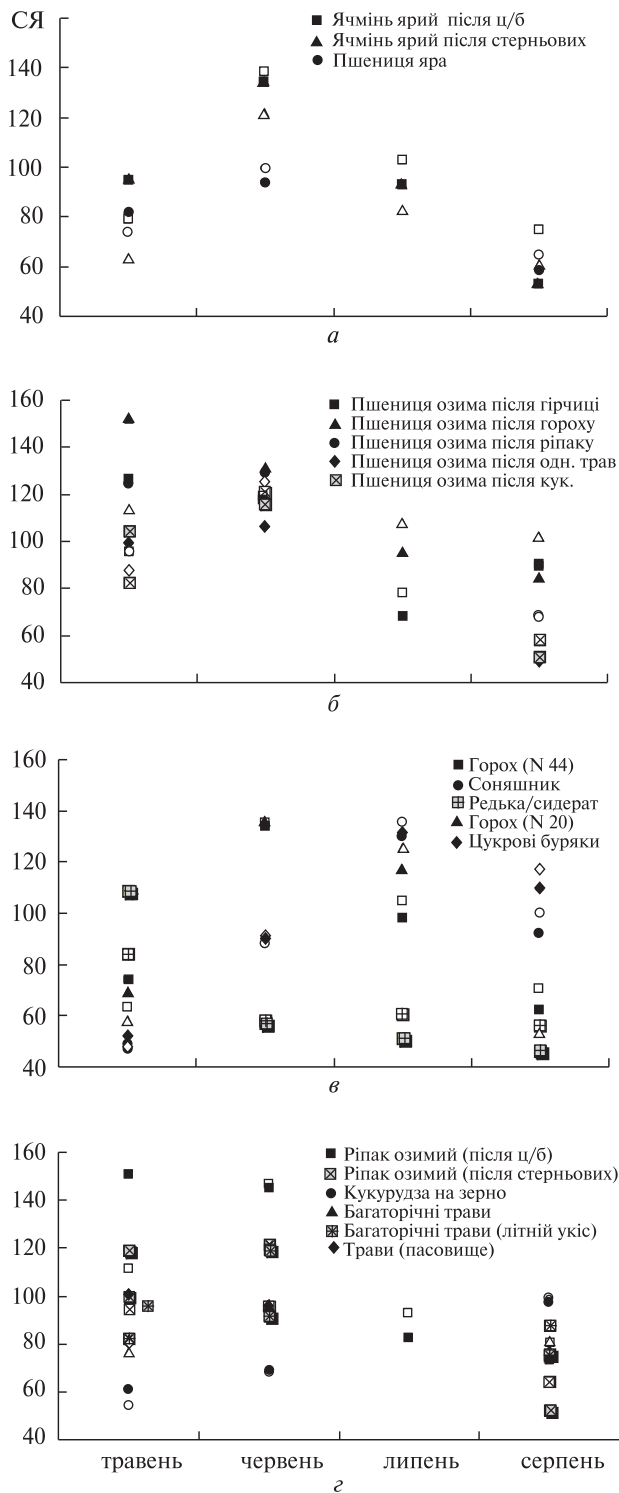


Рис. 1. Спектральна яскравість СЯ культур в інфрачервоному каналі: темні символи — «сірі» дані, світлі — скориговані значення

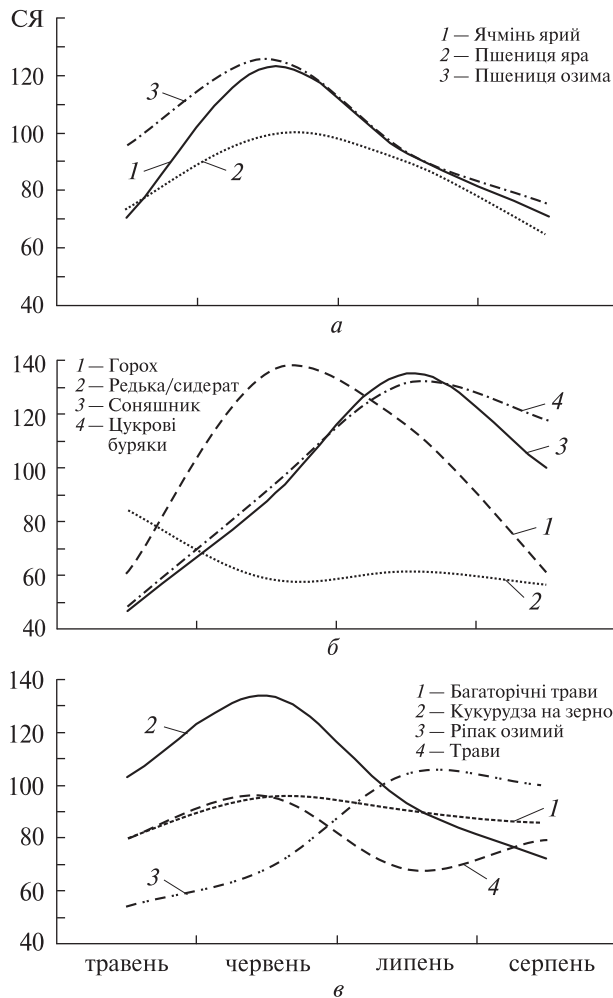


Рис. 2. Середні скориговані значення спектральної яскравості в інфрачервоному каналі для різних культур

Динаміка змін СЯ в інфрачервоному каналі на основі усереднення даних спостережень в північній Лісостеповій зоні та центральному правобережному лісостепу для різних груп культур зображена на рис. 2. Одержані результати дають можливість встановити періоди, найбільш сприятливі для використання даних космічних зніманих з метою ідентифікації різних груп культур. Так, стрімке наростання біомаси у травні — червні характеризує ярі зернові культури; максимальне накопичення потужної біомаси у липні і поступове її зниження у серпні характеризує цукровий буряк та соняшник. Чергування періодів наростання та зниження надземної

біомаси властиве багаторічним травам протягом усього весняно-літнього періоду. Різде зниження спектральної яскравості у липні пов'язане зі скошуванням трав.

Визначення індексу нормалізованої різниці для сільськогосподарських культур зображено на рис. 3. Ярі зернові культури мають швидке зростання індексу від періоду «3-й листок — кущіння» до фази колосіння, що пов'язано з динамікою накопичення надземної біомаси. Значення індексу у ранньовесняний період для даної групи культур дуже залежить від дати посіву, повноти сходів, коефіцієнту кущіння, проективного вкриття.

Для озимої пшениці спостерігалось варіювання індексу залежно від попередника культури (найвищий NDVI відмічено в озимій пшениці після гороху, проміжні значення характерні для культур після ріпаку, сидерального пару, однорічних трав, найнижчі — після кукурудзи на силос). У фазі виходу в трубку (перша декада — початок другої декади травня) озима пшениця відзначалась значеннями $NDVI = 0.31 \pm 0.12$, що суттєво відрізняє її від інших культур у даний міжфазний період. Аналогічну тенденцію має ріпак озимий.

Для цукрового буряку та соняшнику NDVI починає суттєво зростати на протязі літнього сезону (у період інтенсивного росту листя і коренеплоду в цукрових буряків та в період утворення кошика і до початку цвітіння у соняшника) і поступово знижується у серпні. Для кукурудзи на зерно величина індексу досягає максимального значення у липні — серпні.

Визначені вегетаційні індекси на основі серії космічних знімків забезпечили можливість розробки шкали стану культур з урахуванням густоти рослин (табл. 1, 2) для умов північного та центрального правобережного лісостепу (відповідно станом на II—III і I—II декади місяців). Градації шкали характеризують стан певної культури за величиною NDVI і пов'язані з проективним покриттям (ПП), густотою посівів, надземною біомасою. Проективне покриття визначають як проекцію біомаси на поверхні ділянок та відсоткове відношення її до всієї площі поля з урахуванням зрідженості. Густота посіву характеризує загальну кількість стебел, рослин, пагонів на

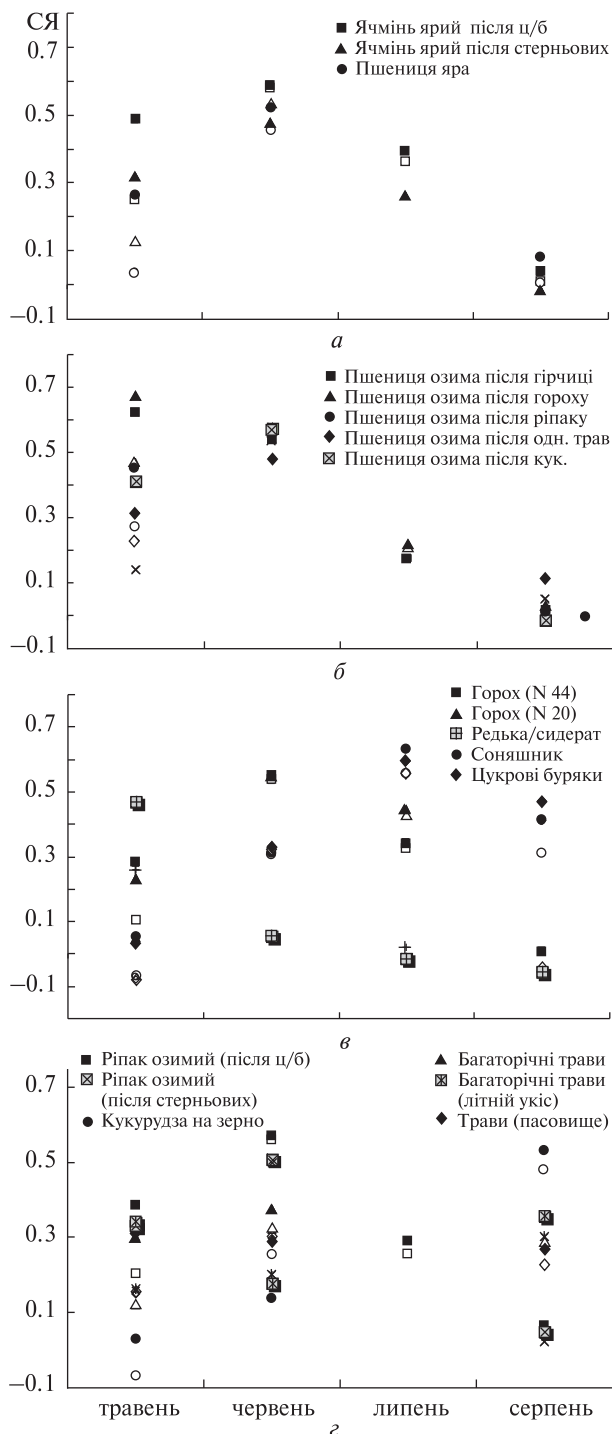


Рис. 3. Вегетаційний індекс нормалізованої різниці, визначений за серією мультиспектральних знімків: а, б — зернові культури, в, г — зернобобові, ефіро-олійні, кормові трави, технічні культури. Темні символи — «сирі» дані, світлі — скориговані значення

облікової площі залежно від фаз розвитку культури. Для зернових колосових визначають кількість рослин і пагонів (шт./м²); кукурудзи на зерно, соняшнику — кількість стебел (тис./га); цукрових буряків — кількість рослин (тис./га). Так, дуже зріджені посіви мають проєктивне покриття менше 20 % (дуже низька густина), значення ПП 20–30 % характеризують низьку густоту; 30–40 % — від низької густоти до середньої; 50–60 % — середню, 60–70 % — від середньої до помірно високої густоти, помірно висока густина характерна для ПП = 70–80 %, висока — для ПП = 80–90 %, дуже висока — для ПП > 90 %.

Враховуючи значення NDVI по фазах росту і розвитку культур та проєктивне покриття ми визначили міру щільності зв'язку двох ознак (кофіцієнт кореляції Пірсона) як відношення ко-

Таблиця 1. Стан густоти посівів сільськогосподарських культур за значеннями індексу NDVI для умов північного та центрального правобережного лісостепу (відповідно станом на II–III і I–II декади місяців)

Культура	Градація густоти (бал)			
	травень	червень	липень	серпень
Ячмінь ярий	3	7	3/4	1
Ріпак озимий	3	7	4	1
Пшениця озима	5	7	3	1
Пшениця яра	2	6	3	1
Горох	2	7	5	1
Соняшник	1	5	7	5
Цукрові буряки	1	5	7	6
Кукурудза на зерно	1	4	5/7	6
Багаторічні трави	3	5	6	4/5
Редька/сидерат	4	1	1	1

Таблиця 2. Шкала градацій густоти, використана у табл. 1

Бал	ПП	Примітка
1	0–0.05	Голий ґрунт / стерня
2	0.05–0.1	Дуже низька густина
3	0.1–0.2	Низька густина
4	0.2–0.3	Густина від низької до середньої
5	0.3–0.4	Середня густина
6	0.4–0.5	Густина від середньої до помірно високої
7	0.5–0.6	Помірно висока густина
8	>0.6	Висока густина

варіації ознак до їхньої варіації. У травні і червні значення R^2 становили 0.94 і 0.91 відповідно, у липні і серпні — 0.95 і 0.92 відповідно (для культур із зеленою біомасою) на рівні значущості $\alpha = 0.01$.

Для розробки шкали на основі одержаних значень індексу NDVI проведено кластеризацію (метод К–середніх). Виділені кластери відповідають градаціям шкали за величиною NDVI з урахуванням густоти посівів. У випадку перехідного відмежування кластера використано проміжні варіанти градації. Аналогічна шкала розроблена автором для «Landsat TM/ETM+», яка має більше градацій і ширший діапазон значень. Шкала є однією із складових моделі ідентифікації сільськогосподарських культур, обґрунтованої автором на основі використання даних мультиспектральних знімків, одержаних на основі сенсорів різних космічних апаратів (IRS-1D LISS-III, «Landsat TM/ETM+», «RapidEye»). Вибір тестових полігонів обґрунтований за даними мультиспектральних знімків високого розрізнення («QuickBird»).

ВИСНОВКИ

Запропоновані у дослідженні методичні підходи та розроблена шкала забезпечують характеристику дійсного стану сільськогосподарських культур за густиною посівів протягом вегетаційного періоду з урахуванням даних вегетаційних індексів та наземних спостережень.

1. *Бабич С. М.* Методичні аспекти аналітичного опрацювання інформації при аерокосмічному моніторингу посівів // Системні дослідження та моделювання в землеробстві. — Київ: Нива, 1998. — 410 с.
2. *Жолобак Г. М., Сахацький О. І.* Завірково-калібрувальні дані в задачах природокористування, пов'язаних із сільськогосподарськими культурами // Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — Київ: Наук. думка, 2006. — С. 262–268.
3. *Лялька В. І., Сахацький О. І., Жолобак Г. М.* Особливості прогнозування врожайності зернових культур за багато спектральними даними ДЗЗ // Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — Київ: Наук. думка, 2006. — С. 176–191.

4. *Chavez P. S.* An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data // *Remote Sens. Environ.* — 1988. — **24**. — P. 459–479.
5. *Chavez P. S.* Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* — 1989. — **55**, N 9. — P. 1285–1294.
6. *Fritz S., et al.* The use of MODIS data to derive acreage estimations for larger fields: A case–study in the south–western Rostov region of Russia // *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* — 2008. — **10**. — P. 453–466.
7. *Martinez-Casasnovas J. A., et al.* Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time–series analysis of Landsat TM images // *Eur. J. Agron.* — 2005. — **23**. — P. 159–169.
8. *Turker M., Arikan M.* Sequential masking classification of multi-temporal Landsat 7 ETM+ images for field-based crop mapping in Karacabey, Turkey // *Int. J. Remote Sens.* — 2005. — **26**. — P. 3813–3830.

Надійшла до редакції 12.08.11

S. S. Kokhan

APPLICATION OF VEGETATION INDEXES DERIVED FROM SATELLITE IMAGES IRS–1D LISS–III FOR DETERMINATION OF CROP STATUS

A scale for the determination of crop density is developed on the basis of normalized vegetation index value derived from the series of satellite images IRS-1D LISS-III for the spring and summer season and with the use of ground data.