

Застосування вегетаційних індексів нормалізованої різниці та зваженої різниці при визначенні стану сільськогосподарських культур

(Представлено академіком НАН України В. І. Ляльком)

Розглянуто теоретичні основи розрахунку вегетаційних індексів. Визначено вегетаційні індекси для семи сільськогосподарських культур типової сівозміни Лісостепу України. Проведено аналіз використання індексу нормалізованої різниці (NDVI) та індексу зваженої різниці (WDVI). Встановлено, що застосування індексу зваженої різниці є ефективним за умов слабого розвитку вегетативної маси сільськогосподарських культур на ранніх етапах органогенезу та в період дозрівання зерна колосових культур.

Аналіз предметно-специфічних особливостей формування спектрального розподілу інтенсивності відбитого від рослинного покриву світла в діапазоні від 0,4 до 2,5 мкм та впливу на нього ряду внутрішніх і зовнішніх факторів показав, що характеристика спектрів відбиття може розглядатися як інформативна основа під час розроблення алгоритмів визначення листового індексу, частки проективного покриття ґрунту рослинністю, біомаси, вмісту хлорофілу, частки фотосинтетичної активної радіації, поглинутої рослинністю та інших параметрів, що характеризують її стан.

Розробка функціональних залежностей між характеристиками рослинності та даними дистанційних спектральних вимірювань є ключовим моментом досліджень, спрямованих на розробку методів дистанційної діагностики стану рослин. Основна проблема при цьому полягає в пошуку таких інформативних показників, які б забезпечували прийнятну на їх основі точність визначення фізіологічних характеристик рослинності.

Для створення нових зображень здійснюють розрахунки вегетаційних індексів, використовуючи так звану алгебру зображень — математичні операції, що комбінують значення пікселів зональних знімків. Вегетаційні індекси широко застосовують під час оцінювання й картографування стану рослинного покриву, показників біологічної продуктивності сільськогосподарських культур і кормових угідь [1–3].

Виділяють дві групи індексів. Перша — це просте арифметичне співвідношення, засноване на контрасті між спектральним відгуком рослинності у червоному та інфрачервоному спектральних діапазонах. До цієї групи належать вегетаційні індекси: NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI, TTVI та індекс співвідношення RATIO. Друга — базується на перпендикулярному вегетаційному індексі. Головне призначення цієї групи — виключити вплив яскравості ґрунту у випадку, якщо рослинність зріджена і пікселі включають суміш зеленої рослинності та ґрунту. Індекси PVI, WDVI, DVI зазвичай називають перпендикулярними, які вимірюють перпендикулярну відстань від ґрунтової лінії до точки RED–NIR у пікселі. Індекси SAVI, TSAVI, MSAVI, MSAVI₂ зменшують вплив ґрунту.

Незважаючи на велику кількість вегетаційних індексів, численні літературні джерела та наші власні дослідження свідчать, що за умов зрідженої рослинності використання ряду вегетаційних індексів лімітоване. Дослідження показали, що ґрунтовий фон спричинює

значний вплив на вегетаційні індекси [4, 5]. Так, якщо фон яскравий, значення індексу буде меншим, якщо темний — значення зростатиме. Багато індексів, що корегують вплив ґрунту, вимагають попередньої атмосферної корекції. Так, за умови використання вегетаційних індексів для довготривалого моніторингу необхідними умовами є аналіз варіювання спектральних характеристик ґрунтів та виконання атмосферної корекції.

Завдання досліджень включали: 1) провести калібрування зображень, визначити значення вегетаційного індексу NDVI, розрахувати нахил ґрунтової лінії та величину індексу WdVI; 2) здійснити масштабування значень індексів; 3) провести аналіз використання груп вегетаційних індексів при вивченні стану сільськогосподарських культур.

Методика досліджень та виклад основного матеріалу. Використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у дослідженнях агроресурсів значно залежить від строків отримання знімків у мультиспектральному діапазоні для вивчення змін відбивальної здатності посівів та визначення вегетаційних індексів. Наразі при дослідженнях агроресурсів широкого використання набули дані, що отримані на основі мультиспектральних сенсорів із супутників RapidEye, SPOT-5, IRS-P6. У проведених нами дослідженнях були використані космічні знімки з супутника IRS-1D LISS-III протягом травня–червня–липня–серпня 2008 р. (у діапазонах хвиль від 0,62 до 0,68 мкм та від 0,77 до 0,86 мкм). Просторове розділення — 23 м. Територія досліджень — центральний правобережний Лісостеп (Черкаська область), Маньківська державна сортовипробувальна станція.

Попередню обробку космічних знімків проводили в Erdas Imagine V.9.3, трансформування та отримання похідних зображень — в Idrisi Taiga. Для порівняння значень вегетаційних індексів (індексу нормалізованої різниці NDVI) та вегетаційного індексу зваженої різниці (WdVI) здійснювали масштабування значень у діапазоні від 0 до 255.

Перша група індексів використовувалася з метою схарактеризувати стан рослинності та ступінь розвитку надземної біомаси рослин. Ця група у найбільшому поширенні представлена індексом NDVI. Індекс є найбільш використовуваним і має властивість зменшувати вплив топографічних факторів. Значення індексу перебуває в межах від –1 до 1. Значення індексу при відсутності рослинності або дуже зрідженого травостою/стеблостою наближається до 0 або має від’ємні величини, характеризуючи голий ґрунт.

Використання групи вегетаційних індексів, що базується на перпендикулярному індексі, полягає у виключенні впливу яскравості ґрунту у випадку, коли рослинність зріджена і пікселі містять суміш вегетуючої рослинності та ґрунтового фону. Вегетаційний індекс зваженої різниці (WdVI) обґрунтований у роботі [6] та використаний безпосередньо для супутників IRS-1C/IRS-1D LISS-III [7]. Так, індекс WdVI визначається за формулою:

$$\text{WdVI} = \rho_{\text{nir}} - \gamma \rho_{\text{red}}, \quad (1)$$

де ρ_{nir} — коефіцієнт яскравості у близькому інфрачервоному діапазоні; ρ_{red} — коефіцієнт яскравості у червоному діапазоні; γ — нахил лінії ґрунту.

Значення індексу нормалізованої різниці NDVI представлено на рис. 1, а. Для ярих зернових культур величина NDVI змінювалась від 0,12–0,25 (3-й листок) до 0,26–0,36 (молодно-воскова стиглість зерна) з максимумом у фазі колосіння 0,48–0,58. Для озимої пшениці величина NDVI становила 0,42–0,47 у період весняне кушіння — початок виходу в трубку; зростання показника відзначалось у фазі цвітіння (початок червня) і становило 0,54–0,57. Для цукрових буряків значення NDVI характеризувалось максимальним зростанням у період інтенсивного росту листя і коренеплоду, в той час як у період утворення цукру в листках

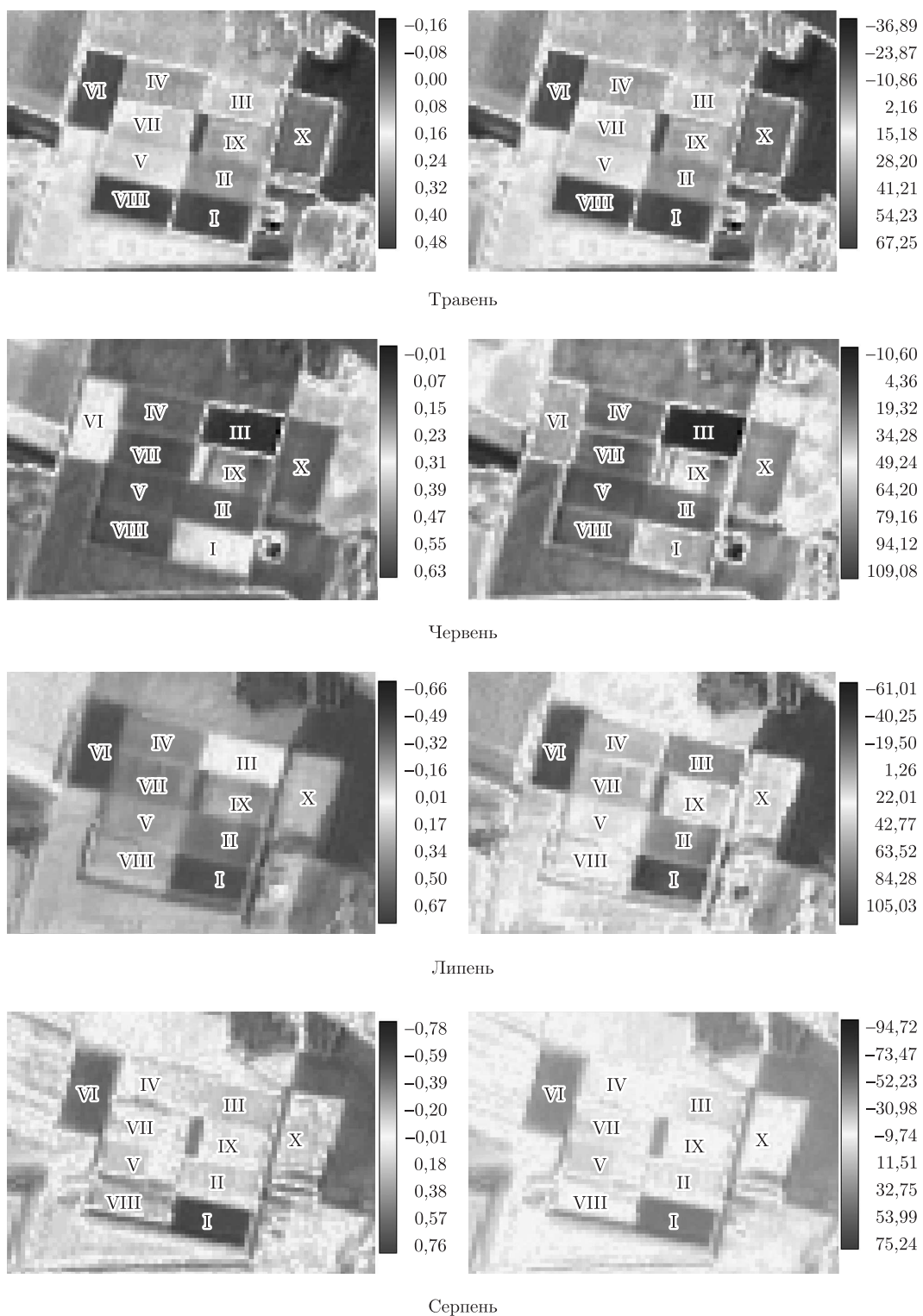


Рис. 1. Індекс нормалізованої різниці NDVI (а) та вегетаційний індекс зваженої різниці WDWI (б), що визначені протягом весняно-літнього періоду

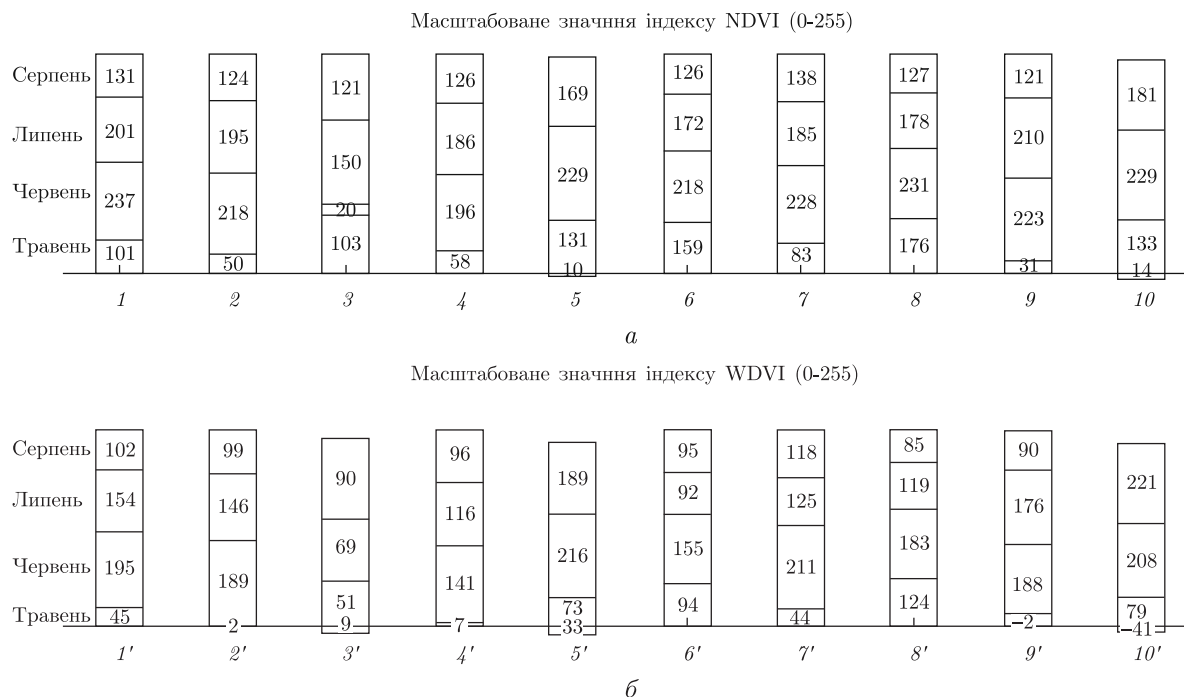


Рис. 2. Масштабовані значення вегетаційних індексів. *Культура* (а й б): 1, 1' — ячмінь ярий (після цукр. буряків); 2, 2' — горох (N₄₄); 3, 3' — редька на сидерат; 4, 4' — ячмінь ярий; 5, 5' — соняшник; 6, 6' — пшениця озима після гірчиці; 7, 7' — ріпак озимий; 8, 8' — пшениця озима після гороху; 9, 9' — горох (N₂₀); 10, 10' — цукрові буряки

та відкладання його в коренеплодах спостерігалось зниження індексу NDVI. Для соняшнику відзначено зростання величини NDVI до періоду утворення кошика.

Результати проведених досліджень свідчать про те, що індекс зваженої різниці WDVІ має високу ефективність при використанні, як і більшість перпендикулярних індексів. Посилення сигналу рослинності у близькому інфрачервоному каналі та зменшення впливу яскравості ґрунту виступають результатом “зважування” червоного каналу з нахилом лінії ґрунту. Для визначення нахилу лінії ґрунту було використано знімки із супутника IRS-1D LISS-III з проведеною нами атмосферною корекцією [8–10]. Створено маски вегетуючої рослинності й ґрунту. Розрахунок WDVІ проводили за такою формулою:

$$WDVI_{(культура)} = NIR_{(культура)} - \gamma_{(рілля)} \cdot RED_{(культура)}. \quad (2)$$

Результати визначення індексу WDVІ представлені на рис. 1, б. Оскільки значення індексу набувають різних величин, здійснити аналіз при використанні первинних даних досить складно. Нами проведено масштабування значень індексів з метою порівняльного аналізу для різних культур протягом весняно-літнього періоду (рис. 2). Розміщення культур на досліджуваних полях таке: I — цукрові буряки; II — горох (N₂₀); III — сидеральний пар; IV — горох (N₄₄); V — ріпак озимий; VI — соняшник; VII — ячмінь ярий; VIII — пшениця озима після гороху; IX — ячмінь ярий; X — пшениця озима після гірчиці.

У ході досліджень встановлено, що індекс WDVІ у період 3-й листок — початок кущіння в ярих зернових культур забезпечує характеристику дійсного стану розвитку культур за рахунок урахування нахилу лінії ґрунту, в той час як NDVI може завищувати значення

індексу відносно дійсного рівня розвитку надземної біомаси культур. Використання індексів NDVI й WdVI у період максимального нагромадження вегетативної маси рослин було рівноцінним. У період наливу та дозрівання зерна величина NDVI характеризувала стан зернових культур, які перебувають на початку фази молочної стиглості зерна. Наземні дані й показники WdVI вказують про настання воскової стиглості зерна. Тому використання індексу зваженої різниці в даний період забезпечує високу вірогідність встановлення фази росту і розвитку зернових культур.

Отже, використання індексу зваженої різниці є найбільш ефективним за умов слабого розвитку вегетативної маси рослин на ранніх етапах органогенезу, зокрема для ярих зернових культур. Використання індексів NDVI й WdVI у період максимального нагромадження вегетативної маси культур є рівноцінним як для зернових, так і для технічних культур. Застосування індексу зваженої різниці (WdVI) у період дозрівання зерна забезпечує високу вірогідність встановлення фази росту і розвитку зернових культур

1. *Kochan S. C., Vostokov A. B., Leont'ev O. O.* Дистанційне зондування Землі. – Київ: МП “ЛЕСЯ”. – 2010. – 300 с.
2. *Sharma A. R., Badarinath K. V. S., Roy P. S.* Corrections for atmospheric and adjacency effects on high resolution sensor data – a case study using IRS-P6 LISS-IV data. The International Archives of the Photogrammetry // Remote Sens. and Spat. Inform. Sci. – 2008. – **37**, Part B8. – P. 497–502.
3. *Clevers J. G. P. W.* The application of a weighted infra-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture // Remote Sens. Environ. – 1989. – **29**. – P. 25–37.
4. *Elvidge C. D., Lyon R. J. P.* Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass // Ibid. – 1985. – **17**. – P. 265–269.
5. *Qi J., Heite A. R.* Modified soil adjusted vegetation index (MSAVI) // Ibid. – 1994. – **48**. – P. 119–126.
6. *Richardson A. J., Wiegand C. L.* Distinguishing Vegetation From Soil Background Information // Photogramm. Eng. and Remote Sens. – 1977. – **43** (12). – P. 1541–1552.
7. *Srinivas P., Das B. K., Saibaba J., Krishnan R.* Application of distance based vegetation index for agricultural crops discrimination. – www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/.
8. *Chavez P. S. Jr.* An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data // Ibid. – 1988. – **24**. – P. 459–479.
9. *Chavez P. S. Jr.* Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images // Photogramm. Eng. and Remote Sens. – 1989. – **55**, No. 9. – P. 1285–1294.
10. *Chavez P. S. Jr.* Image-based atmospheric corrections – revisited and improved // Ibid. – 1996. – **62**, No. 9. – P. 1025–1036.

Національний університет біоресурсів
і природокористування України, Київ

Надійшло до редакції 14.07.2011

С. С. Кохан

Использование вегетационных индексов нормализованной разности и взвешенной разности при определении состояния сельскохозяйственных культур

Рассмотрены теоретические основы расчета вегетационных индексов. Определены вегетационные индексы для семи сельскохозяйственных культур типичного севооборота Лесостепи Украины. Проведен анализ использования индекса нормализованной разности (NDVI) и индекса взвешенной разности (WdVI). Установлено, что применение индекса взвешенной разности эффективно при слабом развитии вегетативной массы сельскохозяйственных культур на ранних этапах органогенеза и в период созревания зерна колосовых культур.

S. S. Kokhan

Application of normalized difference vegetation index and weighted difference index to determining the status of agricultural crops

Theoretical bases of the calculation of vegetation indices are reviewed. The vegetation indices for 7 agricultural crops of the typical crop rotation of the Forest Steppe of Ukraine are calculated. Analysis of the normalized difference vegetation index (NDVI) and the weighted difference index (WDVI) has been completed. It is approved that the WDVI application is the most efficient under conditions of the low crop biomass development during the early stages of organogenesis and the grain ripening.