

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДИСТАНЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРЕДИКТОРІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ

Н. Сердюченко, канд. географ. наук,
М.Новохацький, канд. с.-г. наук, доц.,
УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Представлено обґрунтування вибору інформаційних предикторів, отриманих за допомогою дистанційного зондування землі, для прогнозування врожайності сільськогосподарських культур.

Ключові слова: *вегетаційний індекс, дистанційне зондування, прогноз врожайності, оцінювання стану рослинності.*

Суть проблеми. Завдання оцінювання стану рослинності та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур становлять основу сучасних досліджень в області точного землеробства і економічного планування в аграрній промисловості. Найбільш перспективні напрямки досліджень пов'язані з асиміляцією даних дистанційного зондування Землі в існуючі моделі розвитку рослин і створенням нових методів на їх основі [2-6, 8-10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що дистанційні дані стану рослинного покриву (так звані вегетаційні індекси (VI)) все ширше використовуються в різних галузях природокористування [1-10]. Для прогнозування врожайності із супутникових індикаторів найчастіше використовують нормалізовано різницевий вегетаційний індекс NDVI [2-5, 7].

Враховуючи появу у вільному доступі часових рядів вегетаційних індексів та різних продуктів супутникових даних, постає необхідність дослідження та аналізу всіх доступних інформаційних елементів дистанційного зондування, які можуть бути використані для оцінювання стану сільськогосподарських культур та побудови прогностичних моделей їх продуктивності.

Завданням даного дослідження є виявлення оптимальних дистанційних предикторів для побудови регресійних моделей прогнозування врожайності. Для вирішення поставленого завдання авторським колективом проаналізовано різні інформаційні продукти даних ДЗЗ та наукові роботи, присвячені цій проблематиці.

Основна частина. Характерною ознакою рослинності та її стану є спектральна відбивна здатність, що характеризується великими

відмінностями у відображенні випромінювання різних довжин хвиль. Знання про зв'язок структури і стану рослинності з її відбивними здібностями дозволяють використовувати космічні знімки для ідентифікації типів рослинності та їх стану.

Дані дистанційного зондування характеризують критерії загального впливу умов навколишнього середовища на рослинність, не уточнюючи, яка саме частина кліматичних умов насправді впливає на рослинність. Цей процес називається «дедуктивним» і часто розглядається в основі моделей прогнозування зернових як достатній, для того щоб зробити висновки щодо поточної поведінки зернових та пояснити остаточні прогнози з найменшою неточністю.

На сьогодні існує близько 160 варіантів ВІ. Вони підбираються експериментально (емпіричним шляхом), виходячи з відомих особливостей кривих спектральної відбивної здатності рослинності і ґрунтів [7]. Розрахунок більшості ВІ базується на двох найбільш стабільних (не залежних від інших факторів) ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин. На червону зону спектра (0,62-0,75 мкм) припадає максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а на ближню інфрачервону зону (0,75-1,3 мкм) – максимальне відбиття енергії клітинною структурою листка. Тобто, висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з великою фітомасою рослинності) призводить до більш низьких значень коефіцієнтів відбиття в червоній зоні спектру і більших значень в ближній інфрачервоній. Як це добре відомо, відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати рослинність від інших природних об'єктів.

Найвідомішим і найпоширенішим у практичному використанні нормалізовано різницевий вегетаційний індекс **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) – це простий кількісний показник фотосинтетично активної біомаси. NDVI легко обчислюється, має найширший динамічний діапазон із розповсюджених ВІ і порівняно кращу чутливість до змін у рослинному покриві. Він помірно чутливий до змін ґрунтового й атмосферного фону, крім випадків з розрідженою рослинністю (наприклад, NDVI не варто застосовувати, якщо рослинний покрив становить менше 30% площі території аналізу).

Індекс NDVI може бути розрахованим на основі будь-яких знімків високої, середньої або низької роздільної здатності, що мають спектральні канали в червоному (0,55–0,75 мкм) і інфрачервоному (0,75–1,0 мкм) діапазонах. Алгоритм розрахунку NDVI міститься практично у всіх поширених пакетах програмного забезпечення, пов'язаних із обробкою даних дистанційного зондування (Arc View Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, Erdapper, Scanex MODIS Processor, ScanView та ін.).

Динаміка сезонної зміни NDVI дозволяє оцінювати стан рослин у різних фазах розвитку. Також встановлена залежність між значенням NDVI і врожайністю сільськогосподарських культур [2, 6]. Залежність між цими

параметрами і NDVI, як правило, не пряма і пов'язана з особливостями досліджуваної території, її кліматичними та екологічними характеристиками.

Для оцінювання *приросту надземної біомаси рослин*, на підставі NDVI, розраховують відносний показник розвитку рослинності K_{veg} :

$$K_{veg} = S_{роsl} / S_{суход.} \quad (1)$$

де

$S_{суход.}$ = всі пікселі в діапазоні $0.07 \div 0.2$ NDVI (суходіл);

$S_{роsl}$ = всі пікселі в діапазоні $0.2 \div 0.6$ NDVI (рослинність).

Аналізуючи залежність K_{veg} від часу у вегетаційний період, можна зробити висновок про рівень приросту зеленої біомаси, а отже, спрогнозувати врожайність, порівнюючи дані цього року з попередніми роками.

За значенням індексів NDVI, отриманих завдяки приладові на зразок GreenSeeker Handheld Crop Sensor HCS-100, визначають також показник вмісту валового азоту в рослинах, який використовується для розрахунку чи коригування дози добрив у технологіях точного землеробства.

В процесі моніторингу агресурсів доцільно створювати архів щотижневих карт значень NDVI для району спостережень. За допомогою такого архіву стане можливим отримання поточних оцінок об'ємів зеленої фітомаси відносно середніх багаторічних значень, типових для даного місця в даний період року.

На основі NDVI можливе отримання емпіричних даних для використання в прогностичних розрахунках врожайності та продуктивності сільськогосподарських культур. Так, в роботах [3, 7] авторами проведено розрахунок середньообласної врожайності ярого ячменю та кукурудзи на основі статистичних рядів продуктивності цих культур та значень 16- денних композитів нормативно-диференційованого індексу (250-meter MODIS/NDVI Time Series Database [13]) за період вегетації цих культур впродовж 2000 – 2012 років для окремих регіонів лісостепової частини України. Результати проведених авторами досліджень засвідчили, що NDVI може використовуватись для моделювання і прогнозування врожайності ярих зернових та кукурудзи на регіональному рівні із завчасністю від 2-5 місяців до збирання з середньою похибкою $\pm 7\%$ в 85% випадків.

У випадках з розрідженою рослинністю замість NDVI використовують ґрунтово-вегетаційний індекс (SAVI) або перпендикулярний BI (PVI), які мають поріг чутливості до густоти рослинності близько 15%.

Індекс здоров'я рослинності VHI (Vegetation Health Index) – вегетаційний індекс, заснований на відображенні видимого світла рослинним покривом (отриманий за допомогою AVHRR – Advance Very High Resolution Radiometer), що характеризує здоров'я культур.

Даний індекс базується на поєднанні індексу VCI (Vegetation Condition Index), який характеризує пригніченість рослинного покриву та індексу температурного режиму TCI (Temperature Condition Index), які були запропоновані Ф. Коганом [11]:

$$VHI = 0,5 \cdot VCI + 0,5 \cdot TCI \quad (2)$$

Індекс стану рослинності (VCI) порівнює спостережуване NDVI з діапазоном значень, що спостерігалися в той же період у попередні роки. VCI виражається в % і дає уявлення про місце розташування спостережуваного значення між крайніми значеннями за попередні роки (мінімальним та максимальним). Нижчі і вищі значення вказують відповідно на відносно гірші або ж кращі умови розвитку рослинності. Тобто VCI вказує позицію фактичного NDVI між історичним мінімальним і максимальним значеннями:

$$VCI = 100 \cdot \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \quad (3)$$

де $NDVI$, $NDVI_{\max}$, $NDVI_{\min}$ – усереднені значення індексу NDVI, його абсолютний максимум та мінімум відповідно.

Індекс температурного режиму TCI (Temperature Condition Index) обчислюється із співвідношення:

$$TCI = 100 \cdot \frac{(BT_{\max} - BT)}{(BT_{\max} - BT_{\min})} \quad (4)$$

де BT , BT_{\max} , BT_{\min} – усереднені сезонні значення яскравості температури, її абсолютний максимум та мінімум відповідно.

Тимчасові ряди індексу вегетаційного здоров'я рослинності (VHI) для території України, отримані з приладу AVHRR, а також продукти FAPAR, побудовані за даними Spot Vegetation, було використано для прогнозування врожайності сільськогосподарських культур (на прикладі озимої пшениці) в роботі [2].

Індикатор FAPAR – частина фотосинтетично-активної сонячної радіації (PAR (400-700 нм)), поглинутої рослинами в процесі фотосинтезу, і виражає здатність поглинання енергії рослинним покривом.

Продукт FAPAR (отриманий за допомогою Spot Vegetation) виступає як інтегральний показник стану і здоров'я рослинного покриву. Даний продукт відіграє важливу роль у визначенні первинної продуктивності фітосфери і може бути використаний для кількісного визначення рослинності.

Нерідко виміри FAPAR відбуваються під час ясної або малохмарної погоди, що ускладнює отримання усереднених даних вказаного продукту. Тому рекомендується використовувати вимірювання, зроблені в похмуру погоду.

FAPAR визначають з рівняння:

$$FAPAR = \frac{(PAR_{\downarrow AC} - PAR_{\uparrow AC})(PAR_{\downarrow BC} - PAR_{\uparrow BC})}{PAR_{\downarrow AC}}, \quad (5)$$

де $PAR_{\downarrow AC}$ та $PAR_{\uparrow AC}$ – ФАР, що надходить (зверху вниз) та відбита (знизу вгору) через листовий покрив, та $PAR_{\downarrow BC}$ і $PAR_{\uparrow BC}$ – відповідні умови під листовим покривом.

Як показали результати дослідження [2], при використанні різних джерел інформації для побудови прогнозів озимої пшениці оптимальний час для побудови прогнозу припадає на кінець квітня – початок травня (113-й і 129-й день року для рядів FAPAR, переважно 113-й для рядів VHI, 97-й і 113-

й день для рядів NDVI). Все це дозволяє стверджувати, що досить надійний прогноз врожайності озимої пшениці для більшої частини областей України може бути побудований з використанням дистанційних даних станом на початок – кінець травня, що є досить завчасним для прийняття рішень щодо забезпечення продовольчої безпеки на загальнодержавному рівні.

Індекс маси сухої речовини DMP (Dry Matter Production). Показник DMP є індексом маси накопичення сухої речовини (кгСР/га/день). Він обчислюється за формулою:

$$DMP = R \cdot 0.48 \cdot fAPAR \cdot \varepsilon(T) \cdot 10000 \quad (6)$$

де R – короткохвильове випромінювання Сонця (200-3000 нм), яке становить близько 48% від PAR (фотосинтегично-активна радіація: 400-700 нм); $\varepsilon(T)$ – продуктивний термін [кгСР/Дж_{PAR}] виражає перетворення цієї поглинутої енергії в біомасу (ефективність використання випромінювання). $\varepsilon(T)$ є нелінійною дзвіноподібною функцією від денної температури T, вона сягає максимуму при температурі 22°C і наближається до нуля при температурах нижче 0°C або вище за 40°C. Множник 10 000 [м²/га] перетворює квадратні метри на гектари, що є більш звичною одиницею в агро статистиці [12].

Даний показник широко використовується в системах агромоніторингу та прогнозування врожайності [12] для виявлення аномалій розвитку сільськогосподарських культур та виявлення років-аналогів для прогнозування врожайності.

Висновки. В результаті досліджень встановлено найпоширеніші інформаційні предиктори для побудови прогнозів врожайності сільськогосподарських культур для території України, які в перспективі подальших наукових досліджень автори планують використати для вдосконалення методів прогнозування врожайності основних сільськогосподарських культур в межах адміністративних одиниць України.

Література

1. Антоненко В.С. Оценка состояния посевов и прогноз урожайности озимой пшеницы в Украине по данным многоспектральной космической съемки / Антоненко В.С., Гаценко Р.В. // *Наук. праці УкрНДГМІ.* – 2005. – Вип. 254. – С. 55-71.
2. Колотий А.В. Выбор информационных признаков для построения прогнозов урожайности озимой пшеницы для территории Украины // *Наукові праці ДонНТУ Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”.* – Випуск 2 (18), 2013. – С. 99-104.
3. Кравчук В. Моделирование урожайности ярих зерновых культур з використанням даних ДЗЗ / Кравчук В., Новохацький М., Сердюченко Н., Сайдак Р. // *Збірник праць УкрНДШПВТ.* – 2013. – Вип. 17(31). – Кн. 2. – С. 4-16.
4. Куссуль Н.Н. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Куссуль Н.Н., Кравченко А.Н., Скакун С.В., Адаменко Т.И., Шелестов А.Ю., Колотий

А.В., Грипич Ю.А. // Сборник научных статей "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". – 2012. – Т. 9, №1. – С. 95-107.

5. Куссуль Н. Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным / Куссуль Н., Ильин Н., Скакун С., Лавренюк А. [Электронный ресурс] // International Book Series "Information Science and Computing" – С 103–109. – Режим доступа до матеріалу: http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-03/IBS-03-p16.pdf

6. Лялько В.І. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / Лялько В.І., Попов М.О., Федоровський О.Д. – К.: Наукова думка, 2006. – 357 с.

7. Сердюченко Н. Моделювання врожайності кукурудзи з використанням даних ДЗЗ / Сердюченко Н., Сайдак Р. // Меліорація і водне господарство. Зб наук. праць – 2013. – Вип. 101. – С. 32-41.

8. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика – 2011. – №2. – С. 98-102.

9. Gower, Stith T.; Kucharik, Chris J. and Norman, John M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. // Remote Sensing of Environment. – 1999. – vol. 70, issue 1. – P.29-51. Reprint #4023. P. 36

10. Kogan, F. Winter wheat yield forecasting in Ukraine based on Earth observation, meteorological data and biophysical models / Kogan, F., Kussul, N., Adamenko, T., Skakun, S., Kravchenko O., Kryvobok O., Shelestov A., Kolotii A., Kussul O. & Lavrenyuk A. // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation – 2013. – vol. 23 – P. 192-203.

11. Kogan, F.N., 1997: Global drought watch from space. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 78:621-636.

12. Supit I., Eerens H., Diepen C.A. van, Boogaard H.L., Piccard I., Kempeneers P. Recommendations for Improvement of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). METAMP-report 3/3, Alterra and VITO, JRC-contract 19226-2002-02-F1FED ISP NL. – 2002.

13. <http://pekko.geog.umd.edu/usda/test>

Аннотация

Обосновано выбор информационных предикторов, полученных с помощью дистанционного зондирования земли, с целью их использования для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

Summary

Justification of the choice of information predictors obtained by remote sensing for crop yields forecasts is presented.