

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ ЯКОСТІ ПРОГНОЗУ ВРОЖАЙНОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ВІД ЙОГО ЗАВЧАСНОСТІ

А. В. Колотій^{1,2}

¹Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Анотація

В даній роботі проведено аналіз залежності якості прогнозу врожайності озимої пшениці від його завчасності для території України, оцінено рівні помилок попереднього та остаточного прогнозів порівняно з даними офіційної статистики.

Ключові слова: врожайність, супутникові дані, MODIS, моделювання.

Вступ

Україна є найбільшою серед аграрних країн Європи та посідає провідне місце серед країн-експортерів озимої пшениці на світовому ринку. Так, за даними *FAS (Foreign Agricultural Service)* [1] впродовж 2015 року Україна посідала 5 місце за обсягами експорту пшениці, а тому достатньо точний та своєчасний прогноз врожайності цієї сільськогосподарської культури є важливим для забезпечення продовольчої безпеки як рівні нашої держави, так і у світі.

В даній роботі аналізується залежність якості прогнозу врожайності озимої пшениці [2] від його завчасності на рівні областей України.

Дані

В роботі використані часові ряди даних супутника MODIS (продукт *MOD13Q1* – нормалізований різницею вегетаційний індекс *NDVI* із роздільною здатністю 250 м) за 2000 – 2016 роки [3], карту земного покриття *Globcover-2009*, розроблену під егідою Європейського космічного агентства (ESA) [4], дані Державної служби статистики України по врожайності озимої пшениці на рівні областей [5].

Методологія

Для вирішення задачі прогнозування врожайності використані значення індексу *NDVI* (16-денні композити), усереднені на рівні областей за маскою посівних площ (клас 14 за картою земного покриття *Globcover-2009*). У зв'язку з порівняно невеликим розміром навчальної вибірки (16 точок для 2000 – 2015 рр.) для вибору найкращого предиктору (номеру композиту) використовується процедура крос-валідації (*Leave-One-Out Cross-Validation* – *LOOCV*),

за якою обирається предиктор, що забезпечує мінімізацію СКП (*RMSE*) (1):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_i (P_i - O_i)^2} \quad (1)$$

де P_i та O_i – прогнозоване та фактичне (за даними офіційної статистики) значення врожайності озимої пшениці відповідно, n – кількість років, дані яких використані для навчання моделі.

При цьому сама модель (2) будується як сума трендового компоненту (3), що обумовлений покращенням аграрних технологій та поступовим підвищенням продуктивності сортів, що вирощуються та випадкового компоненту, обумовленого метеорологічними умовами у рік i (4).

$$Y_i = T_i + dY_i \quad (2)$$

$$T_i = a_0 + a_1 \cdot i \quad (3)$$

$$dY_i = Y_i - T_i = f(NDVI_i) = b_0 + b_1 \cdot NDVI_i \quad (4)$$

Аналіз результатів

В таблиці 1 представлені результати прогнозування врожайності озимої пшениці за 97-м композитом *MODIS* (попередній прогноз) та за композитами, обраними в межах *LOOCV*-процедури (остаточний прогноз). При цьому СКП прогнозу для 2015-го року становить 8.1 ц/га для попереднього прогнозу та 7 ц/га для остаточного в середньому по Україні.

Для областей, які є основними постачальниками озимої пшениці (Дніпропетровська, Кіровоградська та інші), помилка остаточного прогнозу становить менше 5 ц/га. На рис. 1 представлено помилки попереднього прогнозу врожайності на 2015-й рік, на рис. 2 – остаточний прогноз врожайності на 2015-й рік.

Табл. 1. Порівняння попереднього та остаточного прогнозів врожайності

Область	LOOCV, DOY	Прогноз, DOY=97, ц/га (2015)	Прогноз, LOOCV, ц/га (2015)	Факт, ц/га (2015)	Прогноз, DOY=97 ц/га (2016)
Вінницька	97	44.6	44.6	48.0	50.5
Волинська	145	35.2	35.2	45.0	34.7
Дніпропетровська	145	24.6	38	34.1	27.8
Донецька	129	26.4	34.9	31.5	26.9
Житомирська	97	30.4	30.4	43.9	38.6
Закарпатська	113	31.9	31.2	34.6	26.1
Запорізька	129	23.9	33.3	31.4	27.4
Івано-Франківська	145	37	37.9	44.1	37.3
Київська	97	40.7	40.7	47.6	42.8
Кіровоградська	129	30.5	36.1	36.8	34.0
Луганська	129	22.5	30.3	26.7	24.4
Львівська	113	38.5	37.4	46.4	38.5
Миколаївська	129	25.6	33.6	34.2	27.1
Одеська	129	26.9	33.9	32.1	32.8
Полтавська	129	35.2	40.5	43.7	39.5
Рівненська	97	35.4	35.4	43.7	40.3
Сумська	129	34.2	34.2	44.2	40.1
Тернопільська	113	39.4	39.7	48.8	46.1
Харківська	129	32.4	47.8	39.3	32.2
Херсонська	129	24.7	30.6	35.4	24.1
Хмельницька	113	41.3	41.3	55.87	46.4
Черкаська	129	48	50.3	50.5	51.1
Чернівецька	113	38.3	37.5	47.1	43.0
Чернігівська	97	34.5	34.5	37.9	37.3

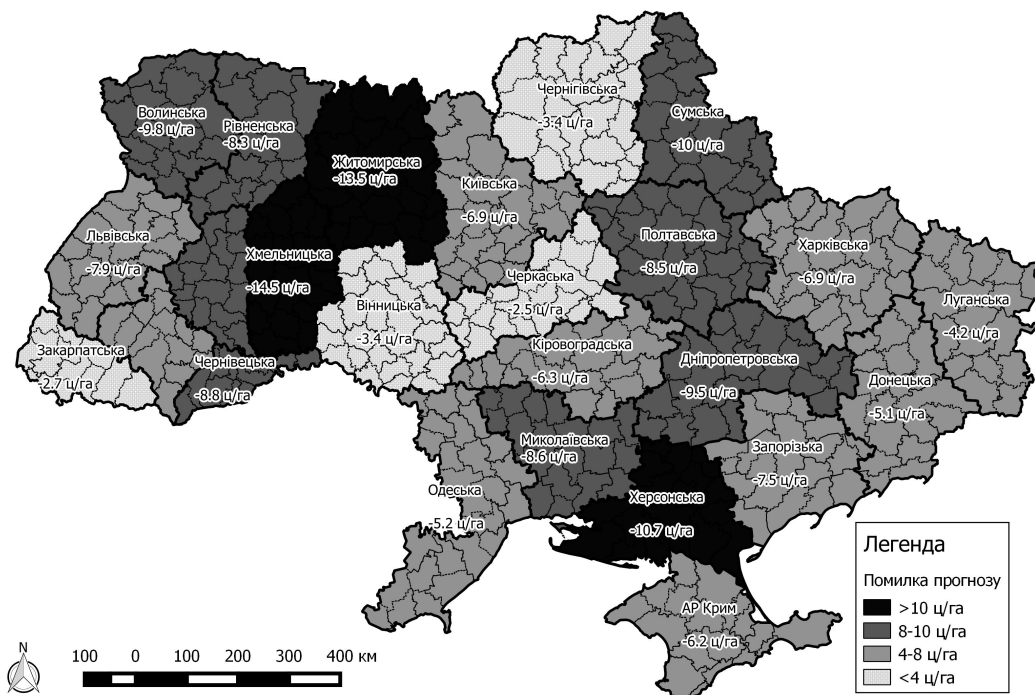


Рис. 1. Попередній прогноз врожайності, кінець квітня 2015

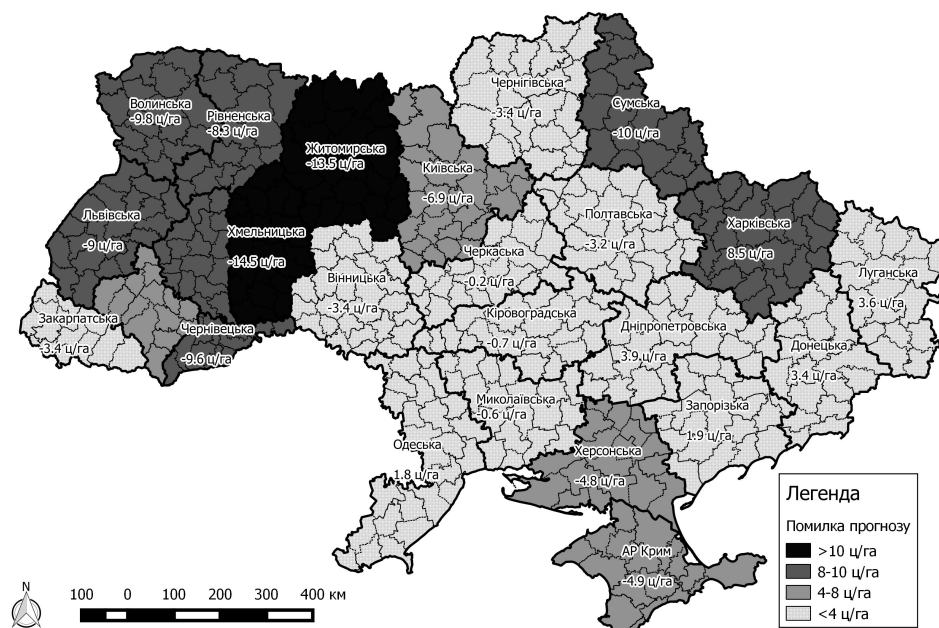


Рис. 2. Остаточний прогноз врожайності, кінець травня 2015

Висновки

Технологія прогнозування врожайності, представлена в цій роботі використовується у відділі агрометеорології Українського гідрометеорологічного центру МНС України [6], а результати в оперативному режимі надаються в міжнародну систему GEOGLAM [7] та в систему моніторингу надзвичайних ситуацій UN-SPIDER [8].

Вищу точність прогнозу (з помилкою на рівні $3 \div 4$ ц/га) можна отримати із значно меншою завчасністю (за $2 \div 3$ тижні до збору врожаю) [9], що не дає вжити завчасних заходів для забезпечення продовольчої безпеки на загальнодержавному рівні. Запропонована технологія дозволяє будувати серію прогнозів у квітні – травні з поступовим уточненням прогнозу, що робить її придатною для прийняття рішень по забезпеченню продовольчої безпеки на рівні держави в цілому. За наявності актуальної карти земного покриття [11, 12] дана технологія дає можливість кількісної оцінки валового збору сільськогосподарських культур в масштабі країни.

Перелік використаних джерел

- [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.fas.usda.gov>
- F. Kogan, N. Kussul, T. Adamenko, S. Skakun, O. Kravchenko, O. Kryvobok, A. Shelestov, A. Kolotii, O. Kussul, and A. Lavrenyuk. "Winter wheat yield forecasting: A comparative analysis of results of regression and biophysical models", Journal of Automation and Information Sciences, 2013, 45 (6), pp. 68- 81.
- [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://terra.nasa.gov/modis>
- [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://due.esrin.esa.int/globcover>
- [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>
- [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://meteo.gov.ua>
- [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://earthobservations.org/geoglam>
- [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://un-spider.org/>
- F. Kogan, N. Kussul, T. Adamenko, S. Skakun, O. Kravchenko, O. Kryvobok, A. Shelestov, A. Kolotii, O. Kussul, A. Lavrenyuk. "Winter wheat yield forecasting in Ukraine based on Earth observation, meteorological data and biophysical models International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013, vol. 23, pp. 192-203.
- A. Kolotii, N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, B. Yailymov, R. Basarab, M. Lavreniuk, T. Oliynyk, V. Ostapenko. "Winter wheat yield forecasting in Ukraine based on Earth observation, meteorological data and biophysical models International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013, vol. 23, pp. 192-203.
- M. Lavreniuk, N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, B. Yailymov. "Regional Retrospective High Resolution Land Cover For Ukraine: Methodology And Results International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015, p. 3965-3968.
- N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, O. Kussul. "The use of satellite SAR imagery to crop classification in Ukraine within JECAM project International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014, p. 1497-1500.