

УДК 633:631.5:551.50:528.88

**ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ
З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ДЗЗ**

Н.М. СЕРДЮЧЕНКО

УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Р.В. САЙДАК

ІВПіМ НААН

Представлено результати моделювання середньообласного рівня врожайності кукурудзи на зерно в центральному лісостепу України з використанням NDVI.

© Н.М. Сердюченко, Р.В. Сайдак, 2014

Меліорація і водне господарство. 2014. Вип. 101

Ключові слова: кукурудза, прогноз урожайності, агрометеорологічні умови, NDVI.

Постановка питання. Оцінювання умов вегетації, стану посівів та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур представляється досить важливим. В останні роки Україна значно збільшила обсяги експорту с.-г. продукції, що, в свою чергу, суттєво підвищує практичне значення прогнозів її виробництва.

Прогнози врожайності зернових культур, що складаються в період вегетації рослин, ґрунтуються на стані посівів і агрометеорологічних умовах, що склалися в період їх росту та розвитку. Показниками стану посівів зазвичай є кількість продуктивних стебел, висота рослин, кількість колосків у колосі та інші елементи продуктивності рослин. Наземний моніторинг цих показників на великих площах вимагає значних затрат часу та коштів. Альтернативою цьому можуть слугувати дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), наприклад, широко застосовуваний у розвинених країнах нормалізований різницевий вегетаційний індекс NDVI [8], який до того ж не опосередковано може характеризувати агрометеорологічні умови за певними періодами вегетації рослин. Коефіцієнт кореляції значень NDVI з середньодобовою температурою повітря та сумами атмосферних опадів сягає за деякими періодами від 0,60 до 0,85 [2].

Аналіз результатів сучасних вітчизняних і закордонних досліджень свідчить про те, що дані ДЗЗ можуть використовуватись для моделювання і прогнозування врожайності озимих, ярих та пізніх зернових та зернобобових культур на різних рівнях виробництва з досить високою точністю [1–4, 6, 7]. У розвинених країнах для оцінки стану посівів і прогнозування врожайності за допомогою ДЗЗ широко використовують моделі, в основі яких лежить моніторинг динаміки фенологічного розвитку с.-г. культур за вегетаційними індексами у взаємодії з ґрунтовими параметрами та погодними умовами. Наприклад такі, як модель біопродуктивності EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator), розроблена Dr. Williams у сільськогосподарському департаменті США [11] або MCYFS (MARS Crop Forecasting System, JRS, Італія [10]).

В Україні наразі наукова робота з питань прогнозування врожайності с.-г. культур за допомогою методів ДЗЗ активно ведеться в Інституті космічних досліджень НАНУ-НКАУ [3], Центрі аерокосмічних досліджень

Землі Інституту геологічних наук НАН України [4], Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті [1], Інституті водних проблем і меліорації НААН [5], УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого [2]. Проте результати дослідження застосування дистанційних даних для прогнозування врожайності пізніх зернових, і зокрема кукурудзи (як культури, яка щодалі все більше поширюється), до цього часу не публікувались.

Отже, основною *метою* даного дослідження є опрацювання технології і моделей для прогнозування врожайності польових культур (на прикладі кукурудзи зернової) для умов центрального лісостепу України (Вінницька обл.) з різними періодами завчасності на основі даних ДЗЗ, в якості яких було взято NDVI.

Результати досліджень. Розрахунки проведено на основі статистичного ряду середньообласної врожайності кукурудзи та значень 16-денного композиту нормалізованого різницевого індексу (MODIS/NDVI Time Series Database [9]) за період вегетації культури впродовж 2000–2012 років для Вінницької області (рис. 1).

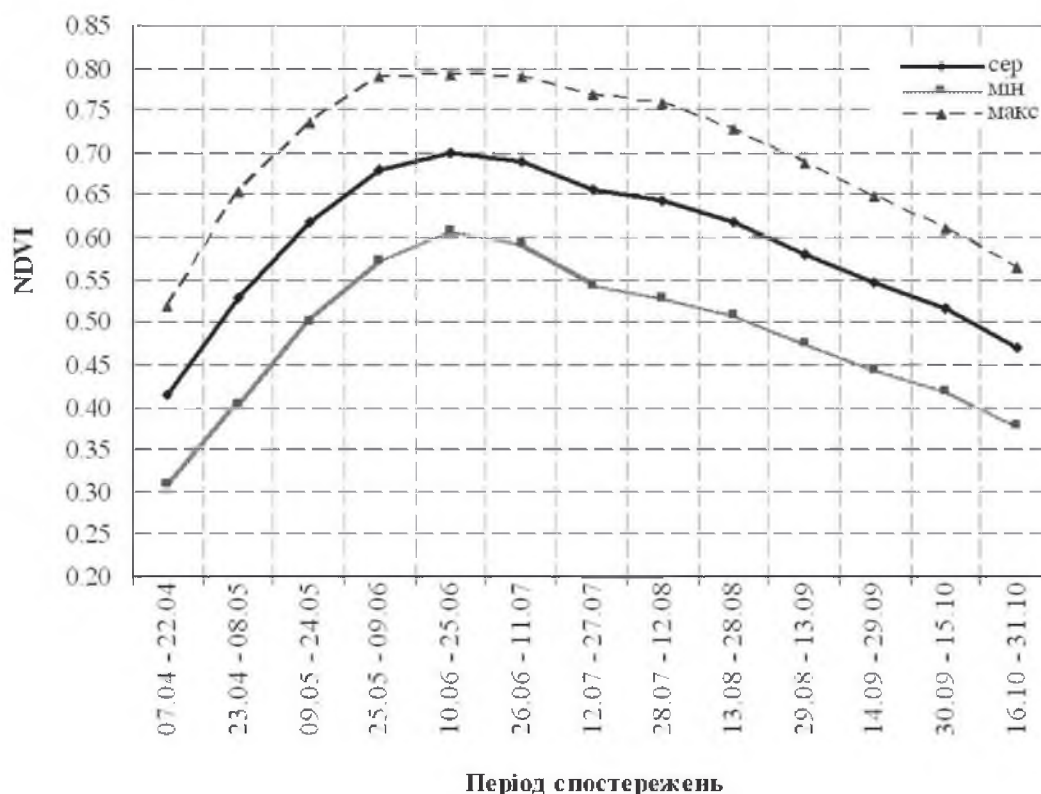


Рис. 1. Динаміка середніх за 2000-2012 рр. значень MODIS NDVI (Terra) для Вінницької області [8]

На першому етапі дослідження було проведено кореляційний аналіз відносного індексу врожайності кукурудзи із даними NDVI в розрізі 16-денних композитів.

Під індексом відносної врожайності розуміється її відхилення в певний період (рік) від загальної тенденції (тренду) [4]:

$$I_v = U_f / U_{tr}, \quad (1)$$

де I_v – індекс відносної врожайності;

U_f – фактична врожайність, ц/га;

U_{tr} – врожайність за трендом, ц/га.

Врожайність за трендом розраховано за поліномом першого порядку:

$$U_{tr} = 2,4495x + 32,431, \quad (2)$$

де x – порядковий номер року ретроспективного ряду.

Динаміку фактичної врожайності кукурудзи та її тенденцію для Вінницької області наведено на рис. 2.

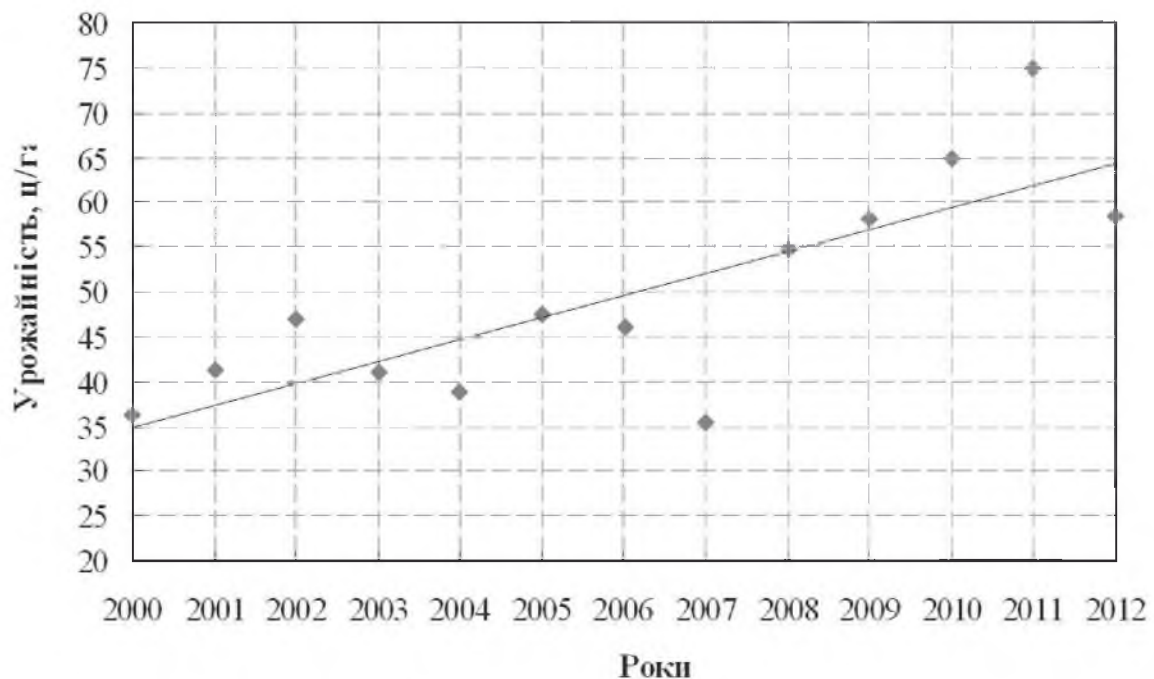


Рис. 2. Динаміка фактичної врожайності кукурудзи та її тенденції для Вінницької області

За допомогою рівняння (1) нестационарний ряд врожайності ми перетворили у стаціонарний, тобто позбавились тренду (рис. 3).

У подальшому для спрощення досліджень скористаємося особливостями закону нормального розподілу, пересвідчившись, що гіпотеза про нього не спростовується.

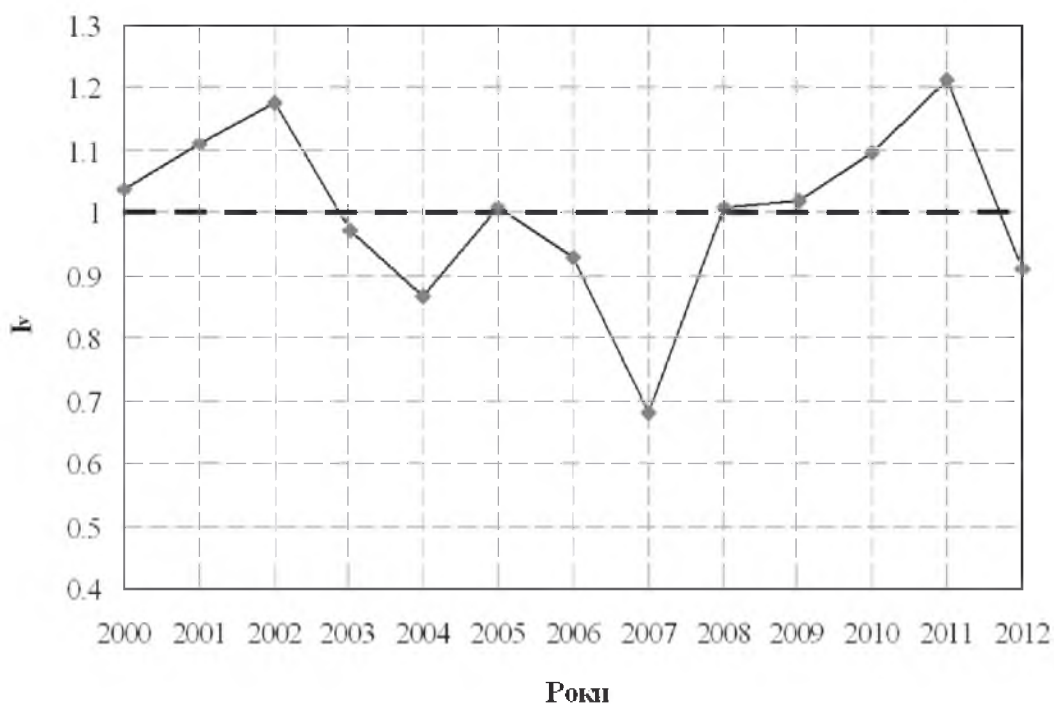


Рис. 3. Індекс відносної врожайності кукурудзи за 2000-2012 рр. для Вінницької області

Перевірку закону нормального розподілу ретроспективного ряду врожайності кукурудзи проводили за критеріями Колмогорова-Смирнова та Шапіро-Уїлка. Ці критерії в більшості випадків є одними з найбільш надійних. Розрахунки перевірки закону нормального розподілу проводили за допомогою програми StatPlus 2009 Professional 5.8.4. Розмір вибірки – 13 років. Результати аналізу наведено в табл. 1.

1. Результати перевірки закону нормального розподілу фактичного ряду врожайності кукурудзи у Вінницькій області за період 2000-2012 рр.

Критерії	Значення статистики (W)	Рівень значимості	Висновок (5%)
<i>Шапіро-Уїлка</i>	0,96	0,73	Нормальність прийнята

Статистичний аналіз індексу відносної врожайності кукурудзи свідчить, що він теж має нормальний розподіл з коефіцієнтом варіації 13,9%. Результати статистичного аналізу фактичної та відносної врожайності кукурудзи наведено в табл. 2.

2. Основні статистичні показники фактичної та відносної врожайності кукурудзи у Вінницькій області за 2000-2012 рр.

Врожайність	Статистичні показники					
	середнє	станд. відхилення	мін.	макс.	дисперсія	коэф. варіації, %
U_f	49,6	11,97	35,5	74,9	143,4	24,2
I_v	1,0	0,14	0,68	1,21	0,02	13,9

Кореляційний аналіз NDVI з індексом відносної врожайності кукурудзи засвідчив наявність статистично значимого зв'язку між цими параметрами (табл. 3).

3. Коефіцієнти кореляції індексу відносної врожайності кукурудзи I_v з нормалізовано різницеvim вегетаційним індексом (NDVI)

	NDVI за період:				
	9.05-24.05	25.05-9.06	10.06-25.06	26.06-11.07	12.07-27.07
I_v	0,53	0,52	0,58	0,79	0,71

Як видно з табл. 3, зв'язок NDVI із врожайністю кукурудзи закономірно зростає впродовж періоду вегетації культури і у липні перевищує 0,70, проти 0,52–0,58 у травні–червні.

Статистична перевірка використаних ретроспективних рядів даних NDVI показала, що вони мають практично стаціонарний характер і відповідають закону нормального розподілу. Таким чином, ці дані можливо використовувати для моделювання середньообласного рівня врожайності кукурудзи в якості незалежної вхідної змінної.

Для прогнозування врожайності кукурудзи на стадії сходів в якості вхідної змінної нами використано значення NDVI за період 9–24 травня. Залежність відносної врожайності кукурудзи від значень NDVI за вказаний період наведено на рис. 4.

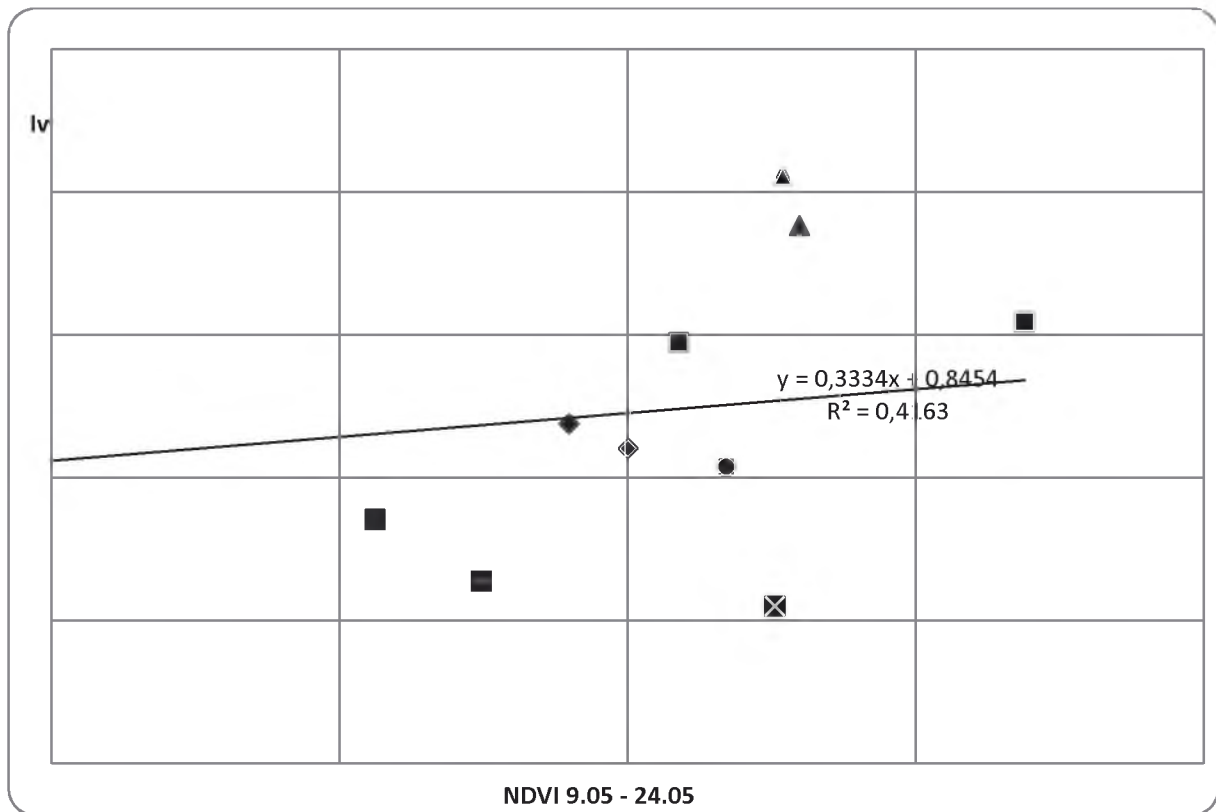


Рис. 4. Залежність індексу відносної врожайності кукурудзи від значень NDVI за період з 9 по 24 травня

Як видно з рис. 4, залежність описується поліномом першого порядку, тобто максимальному значенню NDVI відповідає максимальна продуктивність культури і навпаки, мінімальному – мінімальна відносна врожайність:

$$I_{v\ 24.05} = 1,6826 \cdot NDVI_{9.05-24.05} + 0,0206, \quad (4)$$

де $I_{v\ 24.05}$ – індекс відносної врожайності кукурудзи станом на 24 травня; $NDVI_{9.05-24.05}$ – значення нормалізовано різницевого вегетаційного індексу за період з 9 по 24 травня.

Прогнозне значення врожайності U_{pr} обчислювали за формулою:

$$U_{pr24.05} = I_{v\ 24.05} U_{tr}, \quad (5)$$

де U_{tr} – врожайність за трендом (2).

Коефіцієнт кореляції між фактичним рівнем врожайності U_f та $U_{pr24.05}$ становить 0,87. У 62% випадків похибка прогнозу в цей період не перевищує 10%.

Динаміку фактичної та розрахункової врожайності кукурудзи станом на 24 травня наведено на рис. 5.

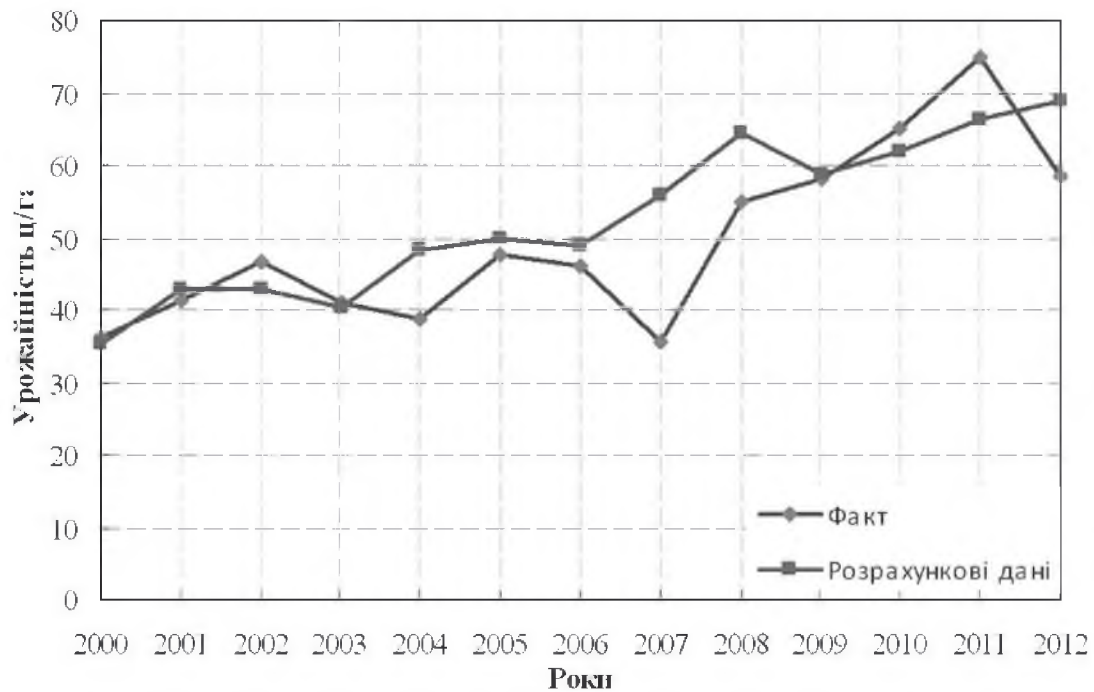


Рис. 5. Динаміка фактичної та розрахункової врожайності кукурудзи у Вінницькій області станом на 24 травня

Як видно з рис. 5, розрахункові дані урожайності на основі запропонованих модельних співвідношень станом на кінець травня переважно відповідають динаміки фактичної врожайності кукурудзи за винятком 2007 та 2012 років.

Аналогічно проведено розрахунки для отримання модельних залежностей і в інші періоди вегетації культури з метою уточнення прогнозів. На нашу думку, уточнення прогнозних оцінок врожайності пізніх культур, в тому числі – кукурудзи, доцільно проводити до кінця липня за результатами спостережень стану посівів. Для цього, при моделюванні, в якості вхідної змінної нами використано значення NDVI за період з 12 по 27 липня.

У результаті розрахунків отримано залежність:

$$I_{v\ 27.07} = 2,2403 \cdot NDVI_{12.07-27.07} - 0,4471, \quad (6)$$

де $I_{v\ 27.07}$ – індекс відносної врожайності кукурудзи станом на 27 липня; $NDVI_{12.07-27.07}$ – значення нормалізовано різницевого вегетаційного індексу за період з 12 по 27 липня.

Прогнозне значення врожайності U_{pr} обчислювали аналогічно формулі (5). Динаміку фактичної та розрахункової врожайності кукурудзи станом на 27 липня наведено на рис. 6.

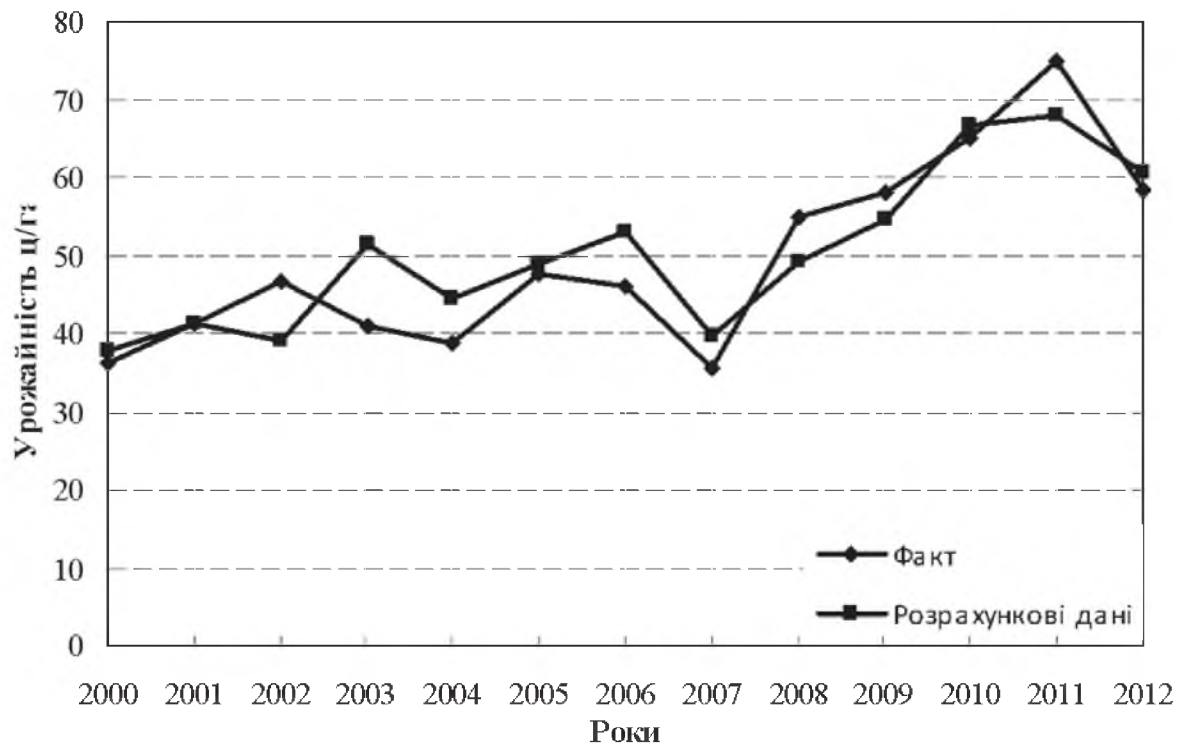


Рис. 6. Динаміка фактичної та розрахункової врожайності кукурудзи у Вінницькій області станом на 27 липня

Як видно з рис. 6, розрахункові дані врожайності на основі запропонованих модельних співвідношень станом на кінець липня практично співпадають з динамікою фактичної врожайності кукурудзи. Коефіцієнт кореляції між фактичним рівнем врожайності U_f та $U_{pr27.07}$ становить 0,89. Середня абсолютна похибка розрахункової врожайності становить 3,6 ц/га.

Висновки. Результати проведених досліджень свідчать, що NDVI може використовуватись для моделювання і прогнозування врожайності кукурудзи на регіональному рівні із завчасністю від 2 до 5 місяців до збирання з середньою похибкою $\pm 7\%$ у 85% випадків.

1. Антоненко В.С. Оценка состояния посевов и прогноз урожайности озимой пшеницы в Украине по данным многоспектральной космической съемки / В. Антоненко, Р. Гаценко // Наук. праці УкрНДГМІ, 2005. – Вин. 254. – С. 55–71.

2. Моделювання врожайності ярих зернових культур з використанням даних ДЗЗ / В. Кравчук, М. Новохацький, Н. Сердюченко,

Р. Сайдак // збірник праць УкрНДІПВТ 2013. – Вип. 17(31). – Кн. 2. – С. 4 – 16.

3. *Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным* / Н. Куссуль, Н. Ильин, С. Скакун, А. Лавренюк // International Book Series «Information Science and Computing». – С.103–109. http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-03/IBS-03-p16.pdf

4. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування* / В. Лялько, М. Попов, О. Федоровський [та ін.] // К.: в-во «Наукова думка», 2006. – 357с.

5. *Сайдак Р.В.* Моделювання середньообласної врожайності та оцінка агрометеорологічних умов на протязі вегетації озимої пшениці / Р. Сайдак, Ю. Сорока // Меліорація і водне господарство. – 2002. – Вип. 89 – С. 243–250.

6. *A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data* / I. Becker-Reshef, E. Vermote, M. Lindeman, C. Justice // Remote Sens. Environ. 114, 1312–1323.

7. *Douglas K. Friedl* Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics / K. Douglas, A. Bolton Mark // Agricultural and Forest Meteorology 173 (2013). – P. 74–84.

8. *Huete A.* Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document / A. Huete, C. Justice, W. Van Leeuwen // Version 3, 1999. – 129 p. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf

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

10. *MARS project*, <http://www.marsop.info>

11. *Williams J.R.* The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC) // Technical Reference. US Department of Agriculture. – 1997.

Представлены результаты моделирования среднеобластного уровня урожайности кукурузы на зерно в центральной лесостепи Украины с использованием NDVI.

The results of simulation on the regional average productivity of maize grain in the central forest-steppe zone of Ukraine using NDVI are given.