

УДК 502:519.2

В. Г. Якимчук, Г. М. Жолобак, А. Ю. Порушкевич, О. І. Сахацький

Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України», Київ

ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ І МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ОЦІНКИ ВРОЖАЙНОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Розглядається залежність врожайності озимої пшениці від температури, кількості опадів і космічного параметра NDVI у вигляді рівнянь множинної регресії. Врожайність прогнозується шляхом обчислення значення функції множинної регресії для конкретних значень кількості опадів і середньої температури або параметра NDVI, отриманих у попередні до прогнозування місяці вегетації пшениці.

Методи прогнозування врожайності [4] вимагають численних контактних вимірювань характеристик ґрунту та рослин. На сьогодні для цього доцільно використовувати параметри стану середовища вегетації, отримувани за допомогою космічних апаратів або метеостанцій. Метод розрахунку значення врожайності з використанням середньої декадної температури повітря і суми опадів за декаду, описано в роботі [1]. Тут поряд з метеопараметрами розглядається також нормалізований відносний індекс рослинності NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — простий якісний показник кількості біомаси.

Метою роботи є дослідження можливості прогнозування врожайності озимої пшениці шляхом визначення множинної регресії, що описує взаємозв'язок ознак-факторів (температура, кількість опадів і NDVI) та результативної ознаки (врожайність).

Для проведення аналізу були взяті дані про врожайність озимої пшениці і метеоумови у Барішівському, Білоцерківському, Миронівському і Яготинському районах Київської області у 1992—2002 рр. [1].

Спочатку були проаналізовані взаємозв'язки між об'єктивними процесами вегетації зерно-

вих культур і метеорологічними умовами. Припускається, що між зазначеними величинами є залежність, яка включає кореляційні і регресійні зв'язки. Між згаданими величинами необхідно виявити зв'язок та вивчити й встановити його форму, що і є основною задачею регресійного аналізу.

Необхідно знайти оптимальний варіант моделі, що відображає основні закономірності досліджуваного явища з достатнім ступенем статистичної надійності. Для прогнозування врожайності у певний момент часу між посівом і збиранням врожаю необхідно мати рівняння, що виражає залежність врожайності від декадних значень температури й опадів за період від посіву до часу прогнозу, за винятком зимових місяців. Наприклад, прогноз на початок травня повинен враховувати температуру й опади після посіву для всіх декад до кінця квітня.

У загальному вигляді багатовимірної лінійної регресійної моделі залежності урожайності u від температури й опадів як факторних змінних x_1, x_2, \dots, x_k має вигляд [1]

$$u = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k. \quad (1)$$

Для оцінки невідомих коефіцієнтів b_j беруться архівні дані за n років врожайності u_1, u_2, \dots, u_n і подекадні значення температури й опадів.

У матричній формі модель має вид

$$U = X \cdot B, \quad (2)$$

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}, \mathbf{U} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ \dots \\ u_n \end{pmatrix}, \mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{pmatrix},$$

де \mathbf{U} — вектор-стовпець фактичних значень залежної змінної (врожайності) розмірності n , \mathbf{X} — матриця значень впливових змінних (метеоданих) розмірності $n(k+1)$, \mathbf{B} — вектор-стовпець оцінюваних коефіцієнтів параметрів розмірності $k+1$.

Оцінки коефіцієнтів b_j знаходяться методом найменших квадратів за значеннями врожаю, опадів і температури з виразу

$$\mathbf{B} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{Y}). \quad (3)$$

Процедура реалізації описаного методу прогнозування врожайності складається з двох етапів. На першому етапі провадиться обчислення коефіцієнтів b_0, b_1, \dots рівняння регресії за архівними даними врожайності й метеопараметрів. На другому етапі в рівняння з отриманими коефіцієнтами вводяться значення опадів і температури попередніх місяців вегетації й обчис-

люється прогнозоване значення врожайності. Перевірка методу показала можливість прогнозування з точністю, яка у рамках проведеного експерименту не нижча за результати прогнозування за контактними вимірюваннями стану рослин і ґрунту [1].

На відміну від опадів і температури значення NDVI є фактором, який не впливає на стан пшениці, а відображає його. З огляду на одержані коефіцієнти рівняння регресії (1) на врожайність пшениці переважно впливають температурні показники, а опади мають незначний вплив. Виходячи з наявних даних SPOT-Vegetation [http://free.vgt.vito.be/] та розглянутих вище результатів, зроблено спробу визначити існування зв'язку динаміки NDVI та врожайності.

Дані NDVI вегетаційного періоду з 1998 до 2005 рр. були отримані з серії подекадних знімків SPOT Vegetation з просторовим розрізненням 1 км. У межах господарств Барішівського району Київської області були вибрані поля озимої пшениці з достатньо великою площею посівів, щоб забезпечити використання даних NDVI низького просторового розрізнення (рис. 1).

З метою автоматизації отримання даних NDVI відповідної області з серії наявних знімків і збе-

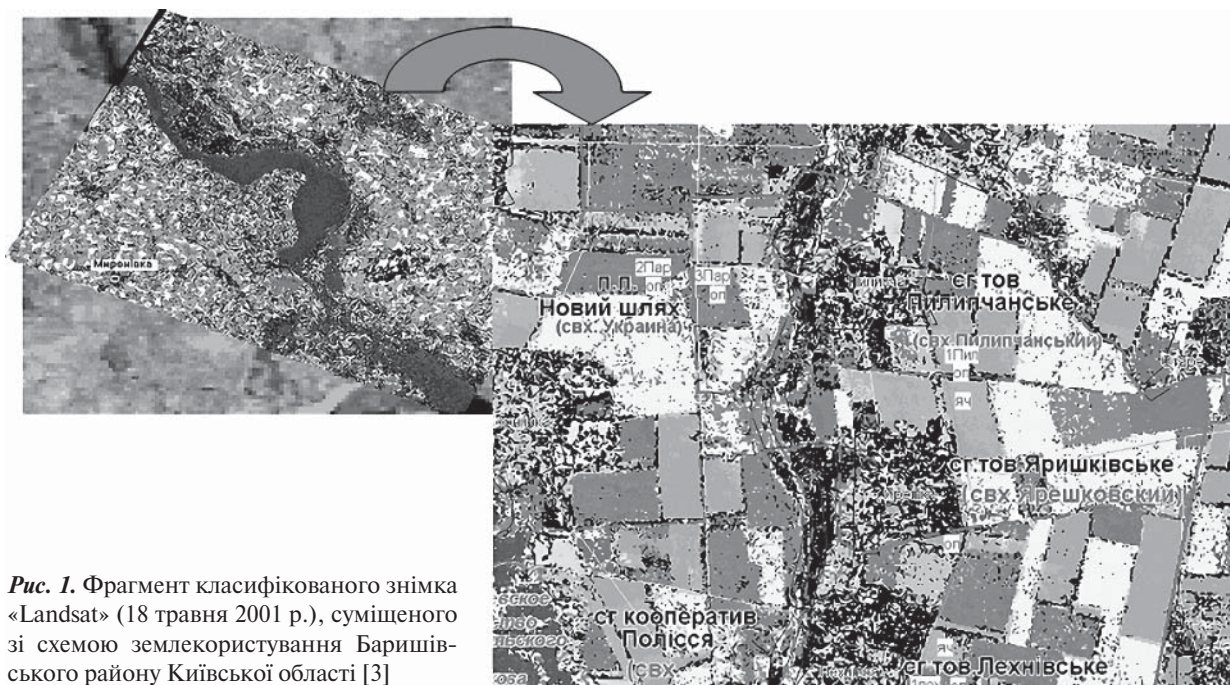


Рис. 1. Фрагмент класифікованого знімка «Landsat» (18 травня 2001 р.), сумішеного зі схемою землекористування Барішівського району Київської області [3]

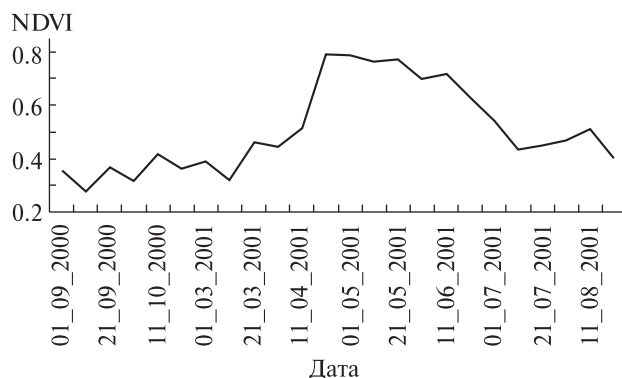


Рис. 2. Графік NDVI озимої пшениці в межах Київської області

Значення найбільших за модулем коефіцієнтів b_i множинної регресії

b_{21}	-15.79	t_{03-2}
b_{47}	12.68	t_{07-3}
b_{11}	8.70	t_{10-3}
b_{39}	-8.66	t_{06-2}
b_{29}	-8.56	t_{04-3}
b_{33}	8.51	t_{05-2}
b_{37}	7.58	t_{06-1}
b_{45}	6.33	t_{07-2}
b_5	-6.13	t_{09-3}
b_{41}	5.39	t_{06-3}
b_3	4.92	t_{09-2}
b_{27}	-4.89	t_{04-2}
b_{25}	4.83	t_{04-1}
b_{31}	-4.60	t_{05-1}
b_9	-3.96	t_{10-2}
b_7	-3.46	t_{10-1}
b_{35}	3.26	t_{05-3}
b_{24}	-2.95	d_{03-3}

реження отриманої інформації у зручному для подальшого аналізу форматі, розроблено відповідну утиліту на мові програмування C++ з використанням відкритої бібліотеки GDAL/OGR. На вхід утиліти подається інтервал часу та координати центра площі посівів, яка нас цікавить. Координати задаються у системі WSG-84 [2]. На виході утиліти одержуємо таблицю, рядки якої містять значення NDVI у вигляді числа з плаваючою точкою для відповідної дати. Графік NDVI

наведено на рис. 2 (дані за листопад — грудень 2000 р. та січень — лютий 2001 р. не показано).

Аналіз ознак-факторів показав, що кореляція величини NDVI з температурою дорівнює 0.73 ± 0.13 , а із кількістю опадів — 0.24 ± 0.12 .

У рівнянні множинної регресії, одержаному для Київської області [1], найбільшими за модулем є коефіцієнти при подекадних значеннях температури. У таблиці після 17 найбільших за модулем коефіцієнтів ($b_{21}, b_{47}, \dots, b_{24}$) при температурах ($t_{03-2}, t_{07-3}, \dots, t_{05-3}$) лише 18-м є перший коефіцієнт $b_{24} = -2.95$ при величині опадів d_{03-3} . Позначення у таблиці: t_{03-2} — середня температура другої декади 3-го місяця, t_{07-3} — середня температура третьої декади 7-го місяця і d_{03-3} — сума опадів третьої декади 3-го місяця.

У відповідності до виразу (1) урожайність є сумою добуток коефіцієнтів на значення метеопараметрів, і саме величина добутку показує вклад кожного часового періоду параметра в прогнозоване значення врожайності. Відсотковий вклад абсолютних значень добуток тільки для температурних показників становить понад 81 % загальної суми.

Це може бути підставою, щоб у випадку відсутності метеоданих для прогнозування врожайності скористатися значеннями NDVI. Для обчислень використовується вираз (1), в якому відсутні коефіцієнти при подекадних значеннях опадів а коефіцієнти при температурних показниках множаться на масштабовані значення NDVI, які відповідають тій же даті. Перевірка цього припущення виконувалася на значеннях вегетаційного періоду 2004—2005 рр. на території Баришівського р-ну порівнянням результатів прогнозування на основі метеоданих і NDVI. Величина похибки за час вегетації має спадний характер, що пояснюється додаванням нових даних, похибка за даними NDVI для різних строків прогнозування перевищувала в середньому на 10 % похибку за метеоданими.

ВИСНОВКИ. Отримані рівняння у формі множинної регресії зв'язують врожайність озимої пшениці як зі значеннями температури й кількості опадів, так і зі значеннями космічних вимірювань NDVI. Коефіцієнти рівнянь обчислюються за архівними даними врожайності,

опадів, температури і NDVI. Прогнозування врожайності виконується шляхом обчислення значення функції множинної регресії, де аргументами є кількість опадів і середня температура або космічні вимірювання NDVI, отримані у попередні до прогнозування місяці вегетації пшениці.

1. Жолобак Г. М., Якимчук В. Г., Сахацький О. І. та ін. Моделювання і прогнозування в задачах природокористування (на прикладі оцінки врожайності озимої пшениці) // Доп. Нац. академії наук. — 2010. — № 4. — С. 164—168.
2. Кеннеді М., Корр С. Картографические проекции. — К.: ЕСОММ Со, 2003. — 112 с.
3. Лялько В. И., Сахацкий А.И., Ходоровский А. Я. и др. Возможности прогнозирования урожайности зерновых культур на основе совместного использования многозональных космических снимков AVHRR, NOAA и «Landsat TM» (на примере Киевской облас-

ти) // Космічна наука і технологія. — 2002. — 8, № 2/3. — С. 249—255.

4. Платонова Т. Ф. Прогнозирование динамики урожайности сельскохозяйственных культур. — Кишинев: Штиинца, 1983. — 88 с.

Надійшла до редакції 11.07.11

V. G. Yakimchuk, G. M. Zholobak, A. Yu. Porushkevich,
O. I. Sakhatsky

THE USE OF SATELLITE AND METEOROLOGICAL DATA FOR THE ESTIMATION OF WINTER WHEAT YIELD

We consider the relationship between winter wheat yield and temperature, rainfall and satellite NDVI measurements in the form of multiple regression equations. The yield estimation is performed by calculating the value of the multiple regression function for concrete values of rainfall and average temperature or NDVI parameter which are obtained in previous months of wheat growing season.