

УДК 504.37:551.524

Г. А. Стародворов, І. Д. Соколов, О. А. Мостовий

*Луганський національний аграрний університет*

## **ЗАЛЕЖНІСТЬ МІНЛИВОСТІ ВРОЖАЙНОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ТА ОПАДІВ**

Наведено результати дослідження впливу середньомісячних температур і місячних сум опадів на врожайність озимої пшениці в Луганській області за 60 років. Встановлено, що температура повітря та опади мають вирішальне значення у динаміці врожайності озимої пшениці.

Data of influence of the average monthly temperatures and monthly precipitation total on productivity of winter wheat in the Lugansk region for 60 years are presented. The atmospheric temperature and precipitation have decisive importance in dynamics of the winter wheat's crop-producing power.

### **Вступ**

Озима пшениця – основна продовольча культура в Україні, велика частина посівних площ якої зосереджена на півдні, південному сході та в центральному регіоні країни. Урожайність озимої пшениці залежить від багатьох природних і антропогенних чинників. З'ясування відносної ролі різних чинників, які обумовлюють мінливість за роками, дозволяє зрозуміти динаміку врожайності та відкриває можливості розробки математичних прогностичних моделей.

У дослідженнях на території Кіровоградської області виявлено залежність урожайності озимої пшениці від температури повітря та опадів, а також встановлено можливість застосування результатів для розробки екологічної моделі прогнозування врожайності. Усі чинники зовнішнього середовища обумовлюють 60–80 % мінливості врожайності [4; 11]. У даній статті наведені результати дослідження сумарного впливу двох основних природних чинників – температури та опадів – на мінливість урожайності пшениці в Луганській області.

## Матеріал і методи досліджень

Використовували дані про середньомісячні температури та щомісячні суми опадів Луганської метеостанції з 1945 по 2004 рік, люб'язно надані нам начальником обласного центру агрометеорології Ю. Н. Власовим, а також співробітниками відділу гідрометеорологічного забезпечення народного господарства Г. Н. Івіною та І. А. Афанасьєвою. Дані про врожайність озимої пшениці в Луганській області за 1945–2004 рр. отримані від заступника начальника обласного статистичного управління Ю. В. Зімінського.

Луганська область, розташована на південному сході України, утворена в 1938 році. Оскільки надійні відомості про врожайність у передвоєнні та воєнні роки відсутні, ми використали статистичні дані за останні 60 років. Для аналізу зв'язку врожайності озимої пшениці з температурою та опадами використовували кореляційний і регресійний аналізи [6]. Обчислення проводили з використанням пакета Statistica [2].

## Результати та їх обговорення

Середня врожайність озимої пшениці за період дослідження складає 2,3 т/га. Вона сильно варіює за роками – від 0,5 т/га у 1946 до 3,9 т/га у 1989 році. У таблиці наведені коефіцієнти парної кореляції врожайності озимої пшениці в Луганській області (залежна змінна  $y$ ) з середньомісячними температурами та опадами (незалежні змінні  $x_1$ – $x_{48}$ ). Найвищі позитивні коефіцієнти кореляції врожайності та температури повітря встановлені за січень, лютий і березень року збору врожаю. Інакше кажучи, чим тепліше зима та початок весни (під час зимівлі), тим вища врожайність (табл.). Навпаки, кореляція врожайності та температури за травень та літні місяці року збору врожаю негативна: чим прохолодніше травень і літо, тим вища врожайність.

У Луганській області, яка розташована у посушливій зоні [13], озима пшениця майже в усіх випадках позитивно реагує на збільшення кількості опадів. Значні позитивні коефіцієнти кореляції встановлені як для червня, липня та вересня року посіву, так і для квітня, травня, червня та липня року збору врожаю (табл.). Цікаво, що достовірна позитивна кореляція знайдена також для вересня та грудня року збору врожаю. У даних випадках, звичайно, не можна говорити, що опади в ці місяці позитивно впливають на врожайність – вони випадають уже після збирання врожаю. Сума опадів грудня значно корелює з сумами опадів у квітні ( $r = 0,26^*$ ) та червні ( $r = 0,28^*$ ), а ті, у свою чергу, пов'язані позитивною кореляцією з урожайністю.

Особливий інтерес становить аналіз множинної кореляції та регресії, який дозволяє оцінити в цілому залежність урожайності від температури повітря та сум опадів за всі 24 місяці. Рівняння множинної регресії має наступний вигляд:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{48}x_{48},$$

де  $y$  – урожайність озимої пшениці (залежна змінна),  $a_0$  – вільний член у рівнянні регресії,  $a_1, a_2, \dots, a_{48}$  – коефіцієнти рівняння регресії, починаючи з  $a_1$  (температура січня року посіву) та до  $a_{48}$  (опади грудня року збору врожаю),  $x_1$ – $x_{24}$  – температури за відповідні місяці,  $x_{25}$ – $x_{48}$  – опади за відповідні місяці.

Підставивши вільний член та коефіцієнти регресії в наведене вище загальне рівняння, одержуємо рівняння регресії, придатне для обчислення теоретично очікуваних значень:

$$y = 77,4488 + 0,1977 \cdot x_1 + \dots + 0,0959 \cdot x_{48}.$$

Часові ряди або ряди динаміки значень урожайності, які очікувалися і спостерігалися (рис.), схожі у багатьох деталях. Гарний збіг спостерігається, зокрема, як для особливо неврожайних, так і рекордно врожайних років. Особливо низька фактична врожай-

ність зареєстрована у 1946, 1956, 1963 та 2000 рр. (0,5, 0,6, 0,7 та 0,9 т/га відповідно). За вивченими в нашій роботі чинниками (температура та опади) у ці роки очікувався неврожай: 0,8, 0,8, 0,9 та 1,1 т/га відповідно. Найвища врожайність зареєстрована у 1989, 1990 та 2001 рр. (4,0, 3,7 та 3,4 т/га відповідно). У ці роки очікувалась незвичайно висока врожайність у зв'язку з погодними умовами: 4,1, 3,8 та 3,6 т/га відповідно.

Таблиця

**Коефіцієнти парної кореляції та множинної регресії  
врожайності озимої пшениці (y) з температурою та опадами ( $x_1-x_{48}$ )**

Місяці	Незалежні змінні	Коефіцієнт парної кореляції ( $r_1-r_{48}$ )	Коефіцієнт множинної регресії ( $a_1-a_{48}$ )	Незалежні змінні	Коефіцієнт парної кореляції ( $r_1-r_{48}$ )	Коефіцієнт множинної регресії ( $a_1-a_{48}$ )
середньомісячна температура повітря, °С						
рік посіву				рік збору врожаю		
січень	$x_1$	-0,07	0,1977	$x_{13}$	0,26*	0,0611
лютий	$x_2$	-0,00	0,1411	$x_{14}$	0,32*	-0,3112
березень	$x_3$	0,12	1,1478	$x_{15}$	0,36**	1,0746
квітень	$x_4$	0,16	-0,3303	$x_{16}$	0,08	-0,6190
травень	$x_5$	-0,07	1,5342	$x_{17}$	-0,28*	1,0926
червень	$x_6$	-0,11	-1,8324	$x_{18}$	-0,38**	-1,3347
липень	$x_7$	-0,13	0,0946	$x_{19}$	-0,19	1,2022
серпень	$x_8$	-0,06	0,2581	$x_{20}$	-0,38**	-2,1853
вересень	$x_9$	-0,19	-1,0902	$x_{21}$	-0,16	-0,4512
жовтень	$x_{10}$	-0,04	2,3203	$x_{22}$	0,18	0,3893
листопад	$x_{11}$	0,08	-1,6038	$x_{23}$	0,12	-0,2163
грудень	$x_{12}$	0,15	0,7691	$x_{24}$	-0,08	0,7001
місячна сума опадів, мм						
рік посіву				рік збору врожаю		
січень	$x_{25}$	0,12	-0,0298	$x_{37}$	0,09	0,0049
лютий	$x_{26}$	0,11	-0,2676	$x_{38}$	0,20	0,0385
березень	$x_{27}$	-0,12	-0,2709	$x_{39}$	0,09	-0,0956
квітень	$x_{28}$	0,23	-0,0457	$x_{40}$	0,28*	-0,0001
травень	$x_{29}$	0,09	-0,0771	$x_{41}$	0,30*	0,0728
червень	$x_{30}$	0,29*	0,0476	$x_{42}$	0,37**	0,0554
липень	$x_{31}$	0,28*	-0,0549	$x_{43}$	0,26*	0,0280
серпень	$x_{32}$	-0,01	0,0830	$x_{44}$	-0,05	0,0025
вересень	$x_{33}$	0,31*	0,1955	$x_{45}$	0,32*	0,0139
жовтень	$x_{34}$	-0,18	-0,0921	$x_{46}$	-0,25	-0,2037
листопад	$x_{35}$	0,18	0,1738	$x_{47}$	-0,01	0,0656
грудень	$x_{36}$	0,06	-0,1473	$x_{48}$	0,30*	0,0959

**Примітки:** \* параметр значимий при  $p < 0,95$ , \*\* – при  $p < 0,99$ .

При такому високому збігу фактичної та теоретичної врожайності коефіцієнт множинної кореляції  $R$  (міра залежності врожайності від вивчених екологічних чинників) повинен наближатися до +1. Дійсно  $R = 0,9671$  ( $p = 0,018$ ), що дозволяє говорити про дуже тісний зв'язок.

Відомо, що квадрат коефіцієнта кореляції  $R^2$ , який називають коефіцієнтом детермінації, показує частку мінливості залежної змінної (у нашому випадку врожайності озимої пшениці в Луганській області), обумовленої організованими незалежними змінними (середньомісячними температурами та місячними сумами опадів року посіву та року збору врожаю). У даному дослідженні  $R^2 = 0,9352$ , тобто 93,5 % мі-

нливості врожайності за роками визначається погодними умовами, а саме температурою та опадами – чинниками, що детермінують урожайність озимої пшениці.

Є підстави вважати, що залежність урожайності від температури та опадів ще вища. По-перше, показники температури та опадів отримали від Луганської метеостанції, але Луганськ розташований не в центрі області. Якби для аналізу використали температуру та опади, середні по метеостанціях області, коефіцієнти множинної кореляції та регресії могли б бути вищими. Однак достовірні відомості про температуру та опади за досліджені 60 років іншими метеостанціями відсутні.

По-друге, за деякі місяці має значення розподіл агроекологічних чинників у межах місяця. Оптимальний термін посіву озимої пшениці в нашому регіоні – перша половина вересня. Сильні дощі в кінці серпня та у першій половині вересня можуть зсунути терміни посіву та викликати зменшення врожайності. Також численні опади у першій половині липня, коли збирають пшеницю, призводять до додаткових втрат врожаю. Якби опади враховувались окремо для першої та другої половини місяця, це могло б підвищити коефіцієнти множинної кореляції й детермінації.

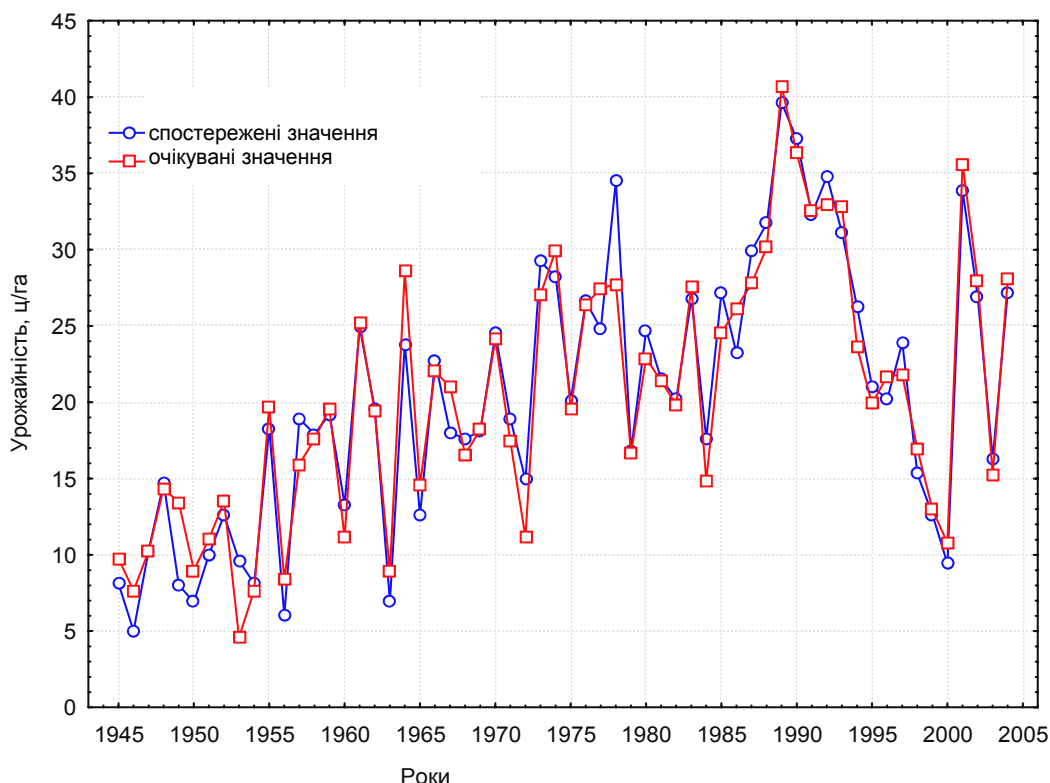


Рис. Часові ряди очікуваних і спостережених значень урожайності озимої пшениці

Інші не враховані в даному дослідженні чинники визначають 6,48 % мінливості врожайності пшениці за роками. Серед них такі агрокліматичні чинники як швидкість вітру, сніговий покрив, крижана кірка, град. Відсутність снігового покриву та крижана кірка погіршують умови зимівлі озимих і можуть знижувати врожай. Сильний вітер і град спричиняють вилягання пшениці й недобір урожаю. У ці ж 6,48 % укладається вплив ряду антропогенних чинників (фондо- та енергозабезпеченість, обсяги застосування добрив і пестицидів, сорти, зміни в організації виробництва,

структурі посівних площ, зрошування тощо). Нова модель залежності мінливості врожайності озимої пшениці за роками в Луганській області від 48 незалежних змінних (середньомісячні температури та помісячні суми опадів за усі місяці року посіву та року збору врожаю) дозволяє враховувати коливання агроекологічних чинників. Звичайно вважалось, що усі нерегульовані чинники зовнішнього середовища (погодні флуктуації) зумовлюють 60–80 % варіабельності врожайності [4; 11].

Як в області, так і в цілому в Україні за останній час використання добрив скоротилося приблизно в 15 разів, моторного палива – утричі, споживання електроенергії – у 4 рази тощо [7]. Проте це не перешкодило отриманню в 2001 році в Луганській області 3,4 т/га зерна озимої пшениці (рис.). Відзначимо у зв'язку з цим, що за всі 60 післявоєнних років вищою врожайність була лише у винятково сприятливі за погодними умовами 1989 та 1990 рр. Вплив антропогенних чинників безумовно не такий великий, як завжди вважається. Вирішальне значення в нашій зоні мають температура повітря та опади.

У роботі [8] спробували визначити найважливіші показники погодних умов для формування врожаю озимих зернових у Харківській області, яку важко вважати цілком вдалою. Проаналізовано залежність урожайності озимих зернових від суми опадів за третю декаду серпня та першу декаду вересня, суми опадів за другу декаду червня, середньодекадну температуру за третю декаду червня, середньодекадну температуру за першу декаду вересня та гідротермічний коефіцієнт за період з початку відновлення вегетації та до кінця другої декади червня. Коефіцієнт множинної кореляції для даної моделі значно менший, ніж для нашої ( $R = 0,682$ ), а коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,464$ . Таким чином, лише 46,4 % мінливості визначається варіюванням за роками вказаних вище незалежних змінних.

Відомо, що розподіл ознаки «врожайність» можна апроксимувати нормальним розподілом [10]. Математична правомірність появи нормального розподілу полягає в тому, що це гранична форма розподілу суми впливів великого числа величин (чинників), з яких жодна величина не «домінує» над іншими [12]. Теоретична основа пошуку невеликої кількості головних екологічних чинників, які визначають мінливість урожайності, при нормальному розподілі відсутня. Навпаки, сам факт нормального розподілу врожайності дозволяє стверджувати, що кількість змінних, які впливають на врожайність, велика. З них у нашій моделі враховано 48. Відзначимо також, що пошуки найважливіших чинників, які визначають мінливість урожайності, стримувалися свого часу великими труднощами, пов'язаними з громіздкими обчисленнями при використанні математичних моделей з великою кількістю змінних. Обчислювальні можливості сучасних персональних комп'ютерів настільки великі, що роблять зайвими будь-які спрощення моделей, які погіршують апроксимацію.

Звичайно вважається, що зменшення врожайності сільськогосподарських культур в Україні в останнє десятиріччя ХХ століття пов'язане з економічними й політичними причинами. Так, О. В. Олійник пише: «Ні в кого не викликає сумнівів, що значне зниження врожайності сільськогосподарських культур у другій половині 90-х років значною мірою зумовлене економічними чинниками» [7]. У світлі наведених у даній роботі результатів такі сумніви не тільки можливі, а й неминучі. Річ у тому, що на часовому інтервалі 1991–2004 рр. збіг фактичної врожайності озимої пшениці в Луганській області з тим, що очікувалася за рівнянням множинної регресії, яке враховує лише температуру та опади, навіть дещо кращий, ніж у 1945–1990 рр.

### Висновки

1. Чим тепліші зима й початок весни під час зимівлі озимої пшениці та, навпаки, чим прохолодніші травень та літо року збору врожаю, тим вища врожайність озимої пшениці.

2. Значні позитивні коефіцієнти кореляції місячних сум опадів з урожайністю встановлені для червня, липня та вересня року посіву пшениці, а також для квітня, травня, червня та липня року збору врожаю. У посушливій Луганській області озима пшениця майже в усіх випадках позитивно реагує на збільшення кількості опадів.

3. Отримано рівняння множинної регресії, що описує зв'язок урожайності з 48 незалежними змінними ( $x_1-x_{24}$  – середньомісячні температури за два роки, роки посіву та збору врожаю,  $x_{25}-x_{48}$  – опади за відповідні місяці). Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,9352$  свідчить про те, що майже 94 % мінливості врожайності за роками визначається температурою та опадами; менше 7 % – неорганізованими агроекологічними та антропогенними чинниками.

### Бібліографічні посилання

1. **Борисенков Е. П.** Тысячелетняя летопись необъяснимых явлений природы / Е. П. Борисенков, В. М. Пасецкий. – М.: Мысль, 1988. – 528 с.
2. **Боровиков В.** Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
3. **Деревянко А. Н.** Погода и качество зерна озимых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 128 с.
4. **Жученко А. А.** Роль генетической инженерии в адаптивной селекции растений // Сельскохозяйственная биология. – 2003. – № 1. – С. 1–34.
5. **Изменение климата**, 2001 г. – К., 2003. – 512 с.
6. **Лакин Г. Ф.** Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
7. **Олійник О. В.** Тенденції та фактори економічної динаміки в аграрному секторі // Вісник ХНАУ. Економіка та природокористування. – 2003. – № 4. – С. 21–32.
8. **Олійник О. В.** Циклічність у динаміці урожайності сільськогосподарських культур // Економіка АПК. – 2003. – № 3. – С. 52–57.
9. **Свердлик Т. О.** Зміни великомасштабної атмосферної циркуляції повітря протягом ХХ століття та перетворення погодних умов на території України. – К., 2000. – 18 с.
10. **Связь экологического фактора «количество осадков» с урожайностью озимой пшеницы на юго-востоке Украины** // И. Д. Соколов, Е. Н. Пашутина, О. А. Мостовой и др. // Збірн. наук. праць Луганського НАУ. – 2005. – № 48 (71). – С. 89–95.
11. **Токаренко В. Н.** Оценка осеннего развития и продуктивность озимой пшеницы предельно поздних (октябрьских) сроков сева в условиях Луганской области / В. Н. Токаренко, А. В. Барановский, О. В. Еременко // Збірн. наук. праць Луганського НАУ. – 2004. – № 36 (48). – С. 122–128.
12. **Теннант-Смит Д.** Бейсик для статистиков / Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 207 с.
13. **Цупенко Н. Ф.** Справочник агронома по метеорологии. – К.: Урожай, 1990. – 238 с.

Надійшла до редколегії 21.02.06.