

УДК 519.866: 330.35 : 336.74

П. М. ГРИЦЮК, Л. Д. БАЧИШИНА

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ МЕТЕОФАКТОРІВ НА УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР В РОЗРІЗІ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ

У роботі досліджено вплив метеорологічних факторів на урожайність зернових культур в регіонах України. Визначені кліматичні чинники, що суттєво впливають на урожайність зернових в різних областях країни. На основі кореляційного аналізу побудовані прогнозні регресійні моделі врожайності, які можуть бути використані для короткострокового прогнозу. Отримані моделі використані для обчислення прогнозних значень урожайності зернових.

Ключові слова: зерновиробництво, прогнозування, регресійні моделі, кореляційний аналіз, часові ряди.

P. M. HRYTSIUK, L. D. BACHYSHYNA

National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne

SIMULATION OF METEOROLOGICAL CONDITIONS EFFECT ON GRAIN CROP CAPACITY IN REGIONS OF UKRAINE

The meteorological conditions' effect on the grain crop capacity in the regions of Ukraine is studied in paper. The significant climate change has been observed in recent decades. So the question of meteorological conditions' effect on the grain crop capacity is still actual despite its had been studied well before. The predictable regression models of crop capacity are developed on the basis of correlation analysis. The monthly precipitations and monthly average temperatures are used as regressors. It is determined that the most important step of growing schemes is April and May. Almost in all regions of Ukraine the April should be warm and May – moderately rainy and cool for good crop capacity achievement. The received models can be used for short-term forecast.

Keywords: grain production, forecasting, regression models, correlation analysis, time series.

Актуальність дослідження. Завдяки стрімкому нарощуванню обсягів аграрного виробництва в останні роки Україна вийшла на світовий ринок зернових як один із найпотужніших експортерів. Щоб утриматись на досягнутих позиціях потрібні ріст і стабілізація виробництва зерна. Цьому сприяють прогресивні сучасні технології, які з успіхом використовують великі зерновиробники. Інший важливий інструмент стабілізації зерновиробництва – прогнозування врожайності, яке допомагає оцінити розміри економічних витрат, планувати площі і структури майбутніх посівів, оптимізувати об'єми резервних фондів та запасів. Прогнозування врожайності підвищує стабільність сільськогосподарського виробництва та знижує небезпеку інфляційних ризиків.

Разом з тим, міжрічні коливання урожайності зернових, обумовлені різноманітням і мінливістю природних, ґрунтових, економічних та інших чинників, є значною проблемою, особливо для степової зони. За останні десятиріччя спостерігають суттєві зміни кліматичних умов, тому питання впливу метеофакторів на продуктивність зерновиробництва, незважаючи на його вивченість, залишається актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням динаміки зерновиробництва в Україні займалися В. П. Тимошенко, О. В. Олійник, П. Т. Саблук. Вплив кліматичних умов на урожайність зернових та агроекономічну оптимізацію розміщення посівних площ висвітлювали в своїх роботах В. П. Дмитренко, І. Б. Загайтов, Л. М. Попитченко [1], Н. П. Гребенюк [2], М. Б. Барабаш [3], Б. В. Скорупський, Ю. В. Славгородський. Проте частина авторів досліджували лише зміни кліматичних умов, інші – їх вплив на зерновиробництво в окремих регіонах України.

Метою нашої роботи є дослідження впливу метеофакторів на урожайність зернових культур в усіх областях України та побудова прогнозних моделей, які враховують цей вплив.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- виконати аналіз динаміки кліматичних умов в регіонах України протягом досліджуваного періоду;
- встановити ступінь впливу метеофакторів на урожайність зернових;
- побудувати прогнозні моделі, які враховують вплив погодно-кліматичних чинників на урожайність зернових.

Об'єктом дослідження є зв'язок температурного режиму та опадів з отриманим врожаєм зернових культур в регіонах України.

Виклад основних результатів дослідження. Для оцінки впливу метеофакторів на врожайність зернових ми використали методику кореляційного аналізу [4]. Вихідними даними досліджень були річні значення врожайності зернових за областями України, середньомісячні температури та місячні суми опадів за даними метеостанцій, розташованих на територіях відповідних областей України [8] за період 1991–2014 рр.

В плані корельованості динаміки врожайності зернових всі області України можна розділити на три групи (кластери) [5]. Першу групу утворюють Вінницька, Чернігівська, Сумська, Київська, Житомирська,

Черкаська та Полтавська області. До другої групи відносяться Волинська, Рівненська, Хмельницька, Тернопільська, Львівська, Івано-Франківська та Чернівецька області. До третьої – Харківська, Донецька, Дніпропетровська, Запорізька, Кіровоградська, Херсонська, Миколаївська та Одеська області. Закарпатська, Луганська області та АР Крим слабо корелюють за врожайністю з іншими областями, що пов'язано з особливостями їх клімату та географічного розташування.

Введемо позначення: R_4 – кількість опадів у квітні, T_4 – середньомісячна температура квітня, R_5 – кількість опадів у травні, T_5 – середньомісячна температура травня, R_6 – кількість опадів у червні, T_6 – середньомісячна температура червня, R_9 – кількість опадів у вересні, T_9 – середньомісячна температура вересня, R_{10} – кількість опадів у жовтні, T_{10} – середньомісячна температура жовтня.

Довжина періоду спостережень – 24 роки. Цей часовий проміжок було розбито на два рівних відрізки довжиною 12 років (1991–2002 рр. та 2003–2014 рр). Такий розподіл зроблено з наступних міркувань:

В 90-і роки спостерігаємо посилення екологічної кризи, розпад колективної системи сільськогосподарського виробництва. Наслідком став різкий спад зерновиробництва у цей період.

На початку 2000-х років у сільському господарстві України завершилася структурна перебудова. Крупні агрофірми, агропромислові підприємства завдяки використанню високопродуктивного насінневого матеріалу та сучасних технологій досягли значного збільшення обсягів зерновиробництва. Починаючи з 2001 року обсяг зерновиробництва в Україні зростає.

Значні зміни кліматичних умов, що відбулися на зламі сторіч [2, 3, 6].

Період спостережень довжиною 12 років є достатнім для забезпечення статистичної значущості коефіцієнта кореляції та його стійкості щодо зрушень часового вікна [7]. Значущість лінійного коефіцієнта кореляції г визначають порівнянням фактичного значення t -критерію Стьюдента:

$$t_r = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-1}, \quad (1)$$

з його табличним значенням при $df = n - 2$ ступенях свободи (n – кількість спостережень). Стійкість коефіцієнта кореляції означає, що при пересуванні часового вікна на 1 рік вперед значення коефіцієнта кореляції має змінюватись незначним чином. Для періоду спостережень $n = 12$ років статистична значущість коефіцієнта кореляції $|r| = 0,57$.

У Таблиці 1 подано значення лінійного коефіцієнта кореляції між врожайністю та місячними показниками температури та опадів для областей України. Відзначимо, що для вересня і жовтня коефіцієнт кореляції розраховується між поточною врожайністю і значенням метеофакторів за попередній рік. Дані в таблиці згруповані відповідно до описаних вище кластерів.

Аналізуючи табличні дані, можна заробити такі висновки:

У першій групі областей ми бачимо суттєвий вплив на урожайність фактору T_4 . Додатні значення коефіцієнта кореляції між урожайністю та чинником T_4 вказують на те, що для отримання високого врожаю зернових квітень має бути теплим, але мало дощовим (для всіх областей, крім Полтавської). Дощі в травні позитивно впливають на урожай зернових у всіх областях цієї групи. Про це свідчать високі і додатні значення коефіцієнта кореляції для чинника R_5 . Додатні значення факторів T_5 та T_6 показують, що теплі травень та червень позитивно впливають на врожай зернових у всіх областях, крім Вінницької. Дощі в червні є негативним фактором для Чернігівської області.

Значний вплив на врожайність зернових у другому кластері мають фактори T_4 та R_{10} . З таблиці видно, що для хорошого врожаю квітень має бути теплим, а жовтень – мало дощовим. Травень має бути прохолодним і з достатньою кількістю опадів скрізь, крім Львівської та Волинської областей (r_{R_5} – від'ємний). Вологий та вересень позитивно впливає на врожай зернових у всіх областях цієї групи ($r_{R_9} > 0$). Для хорошого врожаю у Чернівецькій і Волинській областях вересень має бути ще й досить теплим.

Факторами, що суттєво впливають на врожайність майже у всіх областях третього кластеру є R_4 та T_5 . З таблиці видно, що для високих показників врожайності травень має бути прохолодним, а квітень достатньою кількістю опадів майже у всіх областях цієї групи. Слід відмітити, що високі значення коефіцієнтів кореляції спостерігаються для багатьох факторів цієї групи, це свідчить про те, що урожайність у східних областях України сильно залежить від кліматичних умов.

Дослідження часового періоду 1991–2002 рр. показало, що важливим чинником хорошого врожаю зернових культур в 90-х роках був прохолодний і з достатньою кількістю опадів травень. Абсолютні значення коефіцієнтів кореляції між кліматичними факторами та урожайністю за інші місяці виявилися нижчими, ніж в останні 12 років. Це свідчить про зміни природно-кліматичних умов та посилення впливу метеофакторів на врожай зернових в Україні.

На основі проведеного аналізу ми побудували декілька прогнозних моделей врожайності для кожного кластеру у вигляді рівняння регресії:

$$Y = XA + u. \quad (2)$$

Значення коефіцієнта кореляції між середньообласними показниками урожайності зернових і зернобобових та місячним показниками метеофакторів (період 2003–2014 рр).

№	Назва області	R4	R5	R6	R9	R10	T4	T5	T6	T9	T10
1	АР Крим	0,49	0,14	0,10	-0,07	0,17	-0,15	-0,75	-0,14	-0,17	-0,38
2	Луганська	0,35	-0,05	0,04	-0,13	-0,08	0,10	0,23	-0,11	-0,26	-0,26
3	Сумська	0,10	0,28	0,39	0,37	-0,17	0,37	0,35	0,12	-0,24	0,12
4	Полтавська	0,36	0,35	0,16	-0,07	-0,35	0,42	0,19	0,32	-0,04	0,20
5	Чернігівська	-0,12	0,18	-0,19	0,24	-0,23	0,47	0,34	0,31	0,06	0,39
6	Черкаська	-0,10	0,48	0,26	0,24	-0,46	0,65	0,12	0,45	0,05	0,11
7	Київська	0,18	0,28	0,19	0,40	-0,26	0,68	0,22	0,58	-0,07	0,23
8	Вінницька	0,09	0,49	0,36	0,14	-0,21	0,45	-0,16	-0,11	-0,11	-0,02
9	Житомирська	0,08	0,17	0,07	0,38	-0,19	0,64	0,28	0,42	0,26	0,19
10	Хмельницька	0,17	0,38	0,15	0,21	-0,45	0,54	0,17	0,18	0,05	0,12
11	Рівненська	-0,02	0,42	-0,06	0,51	-0,38	0,31	0,14	0,05	-0,01	0,07
12	Чернівецька	0,33	0,28	0,02	0,35	-0,32	0,69	-0,04	0,21	0,26	0,09
13	Тернопільська	0,30	0,56	0,28	0,35	-0,42	0,56	0,07	0,24	-0,07	0,13
14	Волинська	0,18	-0,12	-0,06	0,33	-0,15	0,44	0,49	0,08	0,22	0,06
15	Івано-Франківська	-0,18	0,03	-0,10	0,05	-0,35	0,62	0,03	0,28	0,16	0,04
16	Львівська	0,04	-0,00	0,14	0,26	-0,47	0,53	-0,05	-0,02	-0,22	0,11
17	Донецька	0,41	0,44	0,02	0,47	0,32	0,36	-0,19	0,00	-0,44	-0,08
18	Харківська	0,39	0,06	0,27	0,44	0,34	0,34	0,16	-0,08	-0,30	0,01
19	Запорізька	0,51	0,37	0,42	-0,19	0,13	0,31	-0,64	-0,13	-0,32	0,16
20	Дніпропетровська	0,42	0,31	0,35	0,08	0,38	0,12	-0,49	-0,26	-0,20	0,15
21	Херсонська	0,74	0,04	0,45	0,41	0,30	0,30	-0,62	-0,24	-0,42	-0,13
22	Кіровоградська	0,56	0,52	-0,35	0,22	0,15	0,45	-0,19	-0,04	-0,10	0,05
23	Миколаївська	0,26	0,39	0,03	0,15	0,24	0,36	-0,50	-0,19	-0,19	0,19
24	Одеська	0,07	-0,02	0,29	-0,07	0,45	0,49	-0,61	-0,34	-0,10	0,17
25	Закарпатська	-0,28	-0,19	-0,54	0,21	0,01	0,37	-0,57	-0,34	-0,33	-0,17

Для кожної моделі встановлено її адекватність та статистичну значущість параметрів. Це дозволяє використовувати моделі для практичного прогнозування.

Як приклад розглянемо прогнозу модель для Кіровоградської області. Побудові моделі передуює кореляційний аналіз. Його результати подані в Таблиці 2.

З таблиці видно, що найбільший вплив на урожайність виявляють параметри R_4 – сума опадів в квітні ($r_{R_4}=0,56$) – та T_4 – середня температура квітня ($r_{T_4}=0,45$). При відборі факторів для прогнозу моделі потрібно перевірити вимогу про відсутність кореляції між цими факторами. Перевагу віддають не тому фактору, що має найбільшу тісноту зв'язку з результуючою ознакою, а чиннику, який при достатньо тісному зв'язку з результуючим, має найменшу тісноту зв'язку з іншими. Основою відбору є кореляційна матриця (таблиця 2).

Модель, побудована нами за даними 2003 – 2014 років, описує взаємозв'язок «врожайність – сума опадів за квітень, середня температура у квітні» і має наступний вигляд:

$$y = 0,19x_1 + 2,70x_2, \quad (3)$$

де y – урожайність, x_2 – середня температура квітня, x_1 – сума опадів у квітні. Значення F -критерію Фішера $F=142,5$, табличне значення F -критерію при $\alpha=0,05$ становить $F_{таб}=4,10$. Оскільки $F_{факт} > F_{таб}$ можна зробити висновок про адекватність побудованої моделі. Стандартні похибки коефіцієнтів $ma_1=0,08$; $ma_2=0,27$. Отже, обидва параметри моделі є значущими. Коефіцієнт детермінації $R^2=0,96$. Прогнозне значення урожайності для 2014 року, отримане на основі моделі (3), становить $Y^*=45,26$ (ц/га). Фактичне значення урожайності в тому ж році $Y=43,6$ (ц/га). Прогнозне значення урожайності зернових Y Кіровоградської області для 2015 року $Y^*=36,47$ (ц/га).

Кореляційна матриця для місячних значень метеофакторів та урожайності зернових (Кіровоградська область, 2003–2014 рр.)

	R4	R5	R6	R9	R10	T4	T5	T6	T9	T10	Y
R4	1,00	0,67	-0,12	0,44	-0,28	0,05	-0,06	-0,35	-0,53	-0,28	0,56
R5	0,67	1,00	-0,23	0,04	-0,06	0,06	-0,50	-0,37	-0,49	0,08	0,52
R6	-0,12	-0,23	1,00	0,30	-0,29	-0,32	0,14	-0,09	0,03	-0,04	-0,35
R9	0,44	0,04	0,30	1,00	-0,42	-0,11	0,04	-0,02	-0,47	0,15	0,22
R10	-0,28	-0,06	-0,29	-0,42	1,00	-0,17	0,24	0,18	0,64	0,30	0,15
T4	0,05	0,06	-0,32	-0,11	-0,17	1,00	0,08	0,31	0,09	0,16	0,45
T5	-0,06	-0,50	0,14	0,04	0,24	0,08	1,00	0,46	0,42	0,01	-0,19
T6	-0,35	-0,37	-0,09	-0,02	0,18	0,31	0,46	1,00	0,54	0,31	-0,04
T9	-0,53	-0,49	0,03	-0,47	0,64	0,09	0,42	0,54	1,00	0,22	-0,10
T10	-0,28	0,08	-0,04	0,15	0,30	0,16	0,01	0,31	0,22	1,00	0,05
Y	0,56	0,52	-0,35	0,22	0,15	0,45	-0,19	-0,04	-0,10	0,05	1,00

Для об'єктивної оцінки похибки прогнозу слід виконати ряд прогнозів. Їх ми зробили для періодів: 2001–2012 рр., 2002–2013 рр., 2003–2014 рр. Значення усередненої похибки прогнозу для трьох часових інтервалів становить 18,5%.

Спробуємо покращити модель введенням нових факторів. Побудуємо прогнозну модель, що описує взаємозв'язок «врожайність – опади у квітні, опади у травні, середня температура за травень». Модель описується наступним рівнянням регресії:

$$Y = 0,13x_1 + 0,07x_2 + 2,50x_3, \quad (4)$$

де y – урожайність, x_3 – середня температура квітня, x_2 – сума опадів у травні, x_1 – сума опадів у квітні. Значення F -критерію Фішера $F=91,3$; табличне значення F -критерію при $\alpha=0,05$ становить $F_{таб}=3,86$. Оскільки $F_{факт} > F_{таб}$, можна зробити висновок про адекватність побудованої моделі. Коефіцієнт детермінації $R^2=0,96$. Отже, всі параметри моделі є значущими. Прогнозне значення урожайності для 2014 року, отримане на основі моделі (4) становить $Y^*=45,76$ (ц/га); для 2015 року – $Y^*=38,27$ (ц/га). Значення усередненої похибки прогнозу для трьох часових інтервалів становить 14%. Це досить висока точність прогнозу врожайності, якій характерна висока мінливість.

Таблиця 3

Параметри прогнозних моделей урожайності (2003–2014 рр.)

Назва області	Фактори моделі	Параметри моделі	Усереднене значення похибки прогнозу	Прогнозне значення врожайності	
				2014 р. (ц/га)	2015 р. (ц/га)
Черкаська (кластер 2)	R5, T4	$a_2=3,83$; $a_1=0,15$ $ma_2=0,51$; $ma_1=0,09$	9,2%	54,4	51,7
Чернівецька (кластер 3)	R10, T4	$a_2=4,39$; $a_1=-0,13$ $ma_2=0,35$; $ma_1=0,07$	10,17%	44,28	41,5

З отриманих результатів можна зробити висновок, що введення нових факторів покращує якість моделі, тому при прогнозуванні варто віддати перевагу останній моделі.

Аналогічним способом прогнозу моделі ми побудували для інших областей. Результати моделювання наведено в таблиці 3.

Висновки. Проведено кореляційний аналіз впливу метеорологічних факторів на врожайність зернових у розрізі областей України. Найважливішим етапом вегетаційної схеми є квітень та травень. Для досягнення високої врожайності квітень повинен бути теплим, а травень – помірно дощовим та прохолодним майже в усіх областях. На основі кореляційного аналізу були побудовані прогнозні регресійні моделі врожайності, які є оптимальними для даного класу моделей за якістю та точністю. Дані моделі можуть бути використані для короткострокового прогнозування урожайності зернових.

Література

1. Попитченко Л.М. Особливості зміни агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці в Луганській області / Л.М.Попитченко // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2005. – Вип. 254. – С. 51–54.
2. Гребенюк Н.П. Нове про зміни глобального та регіонального клімату в Україні на початку XXI ст. / Н.П. Гребенюк, Т.В. Корж, О.О. Яценко // Водне господарство України. – 2002. – № 5-6. – 34с.
3. Барабаш М.Б. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату / М.Б. Барабаш, Т.В. Корж, О.Г. Татарчук // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 92–102.
4. Наконечний С.І. Економетрія : підручник / С.І. Наконечний, Т.О. Терещенко, Т.П. Романюк. – К. : КНЕУ, 2004. – 520 с.
5. Грицюк П.М. Аналіз, моделювання та прогнозування динаміки врожайності озимої пшениці в розрізі областей України : [монографія] / П.М. Грицюк. – Рівне : НУВГП, 2010. – 350 с.
6. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К. : Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
7. Грицюк П.М. Моделювання впливу метеофакторів на врожайність озимої пшениці / П.М. Грицюк // Вчені записки : зб. наук. праць. – К. : КНЕУ, 2010. – Вип. 12. – С. 216–224.
8. Погода в 243 країнах світу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://rp5.ua>

References

1. Popytchenko L.M. Osoblyvosti zmin ahroklimatychnykh umov vyroshchuvannya ozymoi pshenytsi v Luganskii oblasti. Nauk. pratsi UkrNDGMI, 2005, No. 254, pp. 51-54.
2. Hrebenyuk N.P., Korzh T.V., Yatsenko O.O. Nove pro zminy hlobalnogo ta rehionalnogo klimatu v Ukraini na pochatku XXI st. Vodne gospodarstvo Ukrainy, No. 5-6, 2002, 34 p.
3. Barabash M.B., Korzh T.V., Yatsenko O.O. Doslidzhennia zmin ta kolyvan opadiv na rubezhi XX i XXI st. v umovakh poteplinnia hlobalnogo klimatu. Nauk. pratsi UkrNDGMI, 2004, No. 253, pp. 93-102.
4. Nakonechnyi S.I., Tereshchenko T.O., Romaniuk T.P. Ekonometriia: pidruchnyk. Kyiv, KNEU, 2004, 520 p.
5. Hrytsiuk P.M. Analiz, modeliuvannia ta prohnozuvannia dynamiky vrozhaivosti ozymoi pshenytsi v rozrizi oblastei Ukrainy: monohrafiia, Rivne, NUVHP, 2010, 350 p.
6. Klimat Urkainy. Ed. by V.M. Lipinskoho. V.A. Diachuka, V.M. Babichenko. Kyiv, Vyd-vo Raievskogo, 2003, 43 p.
7. Hrytsiuk P.M. Modeliuvannia vplyvu meteofaktoriv na vrozhaivnist ozymoi pshenytsi. Vcheni zapysky, Zb. nauk. prats, Kyiv, KNEU, 2010, No. 12, pp. 216–224.

Надійшла 13.05.2015; рецензент: д. е. н. Сазонець О. М.