

УДК: 51:631.6:633.114(477.72)

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ПШЕНИЦІ
ОЗИМОЇ ПРИ ОПТИМАЛЬНОМУ РЕЖИМІ ЗРОШЕННЯ ЗАЛЕЖНО
ВІД АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ**

С.В.КОКОВІХІН – докторант, к.с.-г.н., с.н.с.,
Херсонський ДАУ,
Г.К.КОВАЛЕНКО – м.н.с.,
Л.С.МІШУКОВА – с.н.с., Інститут землеробства
південного регіону УААН

Постановка проблеми. Пшениця озима є однією з найважливіших сільськогосподарських культур сучасного землеробства. Вона є одним з найважливіших складових елементів світового ринку сільськогосподарської продукції, основою гарантування продовольчої безпеки України. Соціально-економічна криза негативно вплинула на розвиток зернового господарства й, зокрема, на виробництво пшениці, що істотно позначилося на експортних можливостях держави. Тенденції останніх років свідчать, що до теперішнього часу не вирішено проблему забезпечення сталості зерновиробництва, задоволення загальнодержавних потреб у продовольчому зерні високої якості, забезпечення високого рівня конкурентоспроможності та прибутковості галузі [1].

При здійсненні прогнозів існує ціла низка труднощів, які обумовлені як природними, так і економічно-господарськими факторами. Перші проявляються в неточності й непередбачуваності погодних умов, які суттєво впливають на рівень врожаю, навіть при високому рівні агротехніки. Другі негативні чинники передбачення продуктивності рослин пояснюються наявністю в Україні, як і в багатьох інших державах, сільськогосподарських підприємств різного розміру й спеціалізації (невеликі фермери, великомасштабні комерційні господарства, державні господарства, фермери з частковою спеціалізацією в сільському господарстві тощо), які мають неоднакові технологічні та економічні можливості щодо систем збору великих обсягів інформації й обробки баз даних [2].

Ці труднощі одержання та контролю за точністю вихідних статистичних даних викликають необхідність здійснення сезонних, річних та багаторічних прогнозів, їх взаємоуточнення, а також попередньої та заключної оцінки. Отже, існує коло проблемних питань в напрямі прогнозування продуктивності сільськогосподарських культур, які можна вирішити шляхом розробки й використання моделей продуктивності рослин залежно від дії та взаємодії природних та агротех-

нологічних чинників. Вирішенню актуальних проблем прогнозування та моделювання продуктивності пшениці озимої і були присвячені наші дослідження.

Стан вивчення питання. Херсонська область відноситься до агропромислової зони, тому родючість ґрунтів є вирішальним фактором у виробництві сільськогосподарської продукції. Основою ґрунтової родючості є якість ґрунтів, але в умовах півдня України важливим чинником одержання стабільних врожаїв служить наявність вологи в ґрунті. Це переконання лягло в основу планів народногосподарського розвитку в 50-60 роки ХХ сторіччя, що стало причиною широкого розвитку зрошувального землеробства в південному регіоні України [3].

Під впливом зрошення на півдні України сформувалися агроландшафти з новими властивостями. Поряд із їх позитивною функцією, виникло питання про погіршення якості меліоративного стану використовуваних земель. На сьогодні через дефіцит матеріально-грошових ресурсів це питання стоїть особливо гостро [4].

Режим зрошення є одним з ключових елементів системи зрошувального землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур. Це комплексний показник, який складається з визначення і розподілу у часі кількості та норм поливів культур залежно від їх біологічних ознак, реакції на нестачу вологи на різних етапах органогенезу рослин, меліоративного стану зрошуваних площ, якості поливної води, способів поливу, клімату зони і погодних умов вегетації рослин [5-7].

Проте, ефективність режимів зрошення істотно залежить від особливостей поточних метеорологічних умов, що обумовлює необхідність коригування штучного зволоження відносно цих чинників за допомогою прогнозування й моделювання стану агроценозів та продуктивності рослин.

Завдання і методика досліджень. Завданням наших досліджень було встановити вплив агрометеорологічних чинників на продуктивність пшениці озимої з використанням варіаційного, кореляційно-регресійного та індексного аналізу багаторічних експериментальних даних.

Висхідними матеріалами для моделювання й прогнозування були експериментальні дані польових дослідів з пшеницею Інституту землеробства південного регіону УААН за період 1970-2008 рр., яку вирощували при оптимальному режимі зрошення [8]. Агротехніка в дослідгах загальноприйнята для зони зрошення півдня України. Для встановлення статистичних моделей та індексного аналізу використовували показники Херсонської агрометеорологічної станції [9], яка розташована поряд з Дослідним полем ІЗПР УААН.

Дослідження з цього напрямку проведені з використанням спеціальних методик із застосування інформаційних технологій у сільському господарстві [10, 11].

Результати досліджень. В останні роки набуває все більш актуального значення сільськогосподарська статистика, яка дозволяє здійснювати контроль за станом та векторами безпеки харчових продуктів, використовується для раннього попередження проблем технологічного, економічного та екологічного характеру, оптимізації агротехнологічного комплексу землеробства та рослинництва.

Учасниками процесів інформатизації в агросфері, які наростають в останні роки дуже швидкими темпами, стають державні й міждержавні установи та організації, трейдери, агровиробники, підприємства з переробки рослинницької та тваринницької галузі тощо. Для забезпечення як теоретичного, так і практичного використання прогнози повинні бути надійними й достатньо точними, оскільки нереалістичні та хибні передбачення ведуть до невірних рішень і втрат [12].

За допомогою прогнозування врожайності сільськогосподарських культур агровиробники можуть оперативніше планувати свою діяльність, коригувати витрати ресурсів, що забезпечує покращення економічних та екологічних показників сільського господарства. Завчасне планування має також велике значення для стратегічного планування розвитку окремих регіонів, ґрунтово-кліматичних зон та країн шляхом районування найбільш вигідних культур, специфікації технологій з урахуванням очікуваного рівня продуктивності рослин, забезпечення на довготривалій період підприємства певними видами сировини тощо.

При здійсненні збору вихідної інформації треба використовувати стандартні концепції, які забезпечують порівняність прогнозованих даних у просторі та часі. Наприклад, при прогнозуванні виробництва зернових культур можна враховувати інформацію про посівну площу та прогнозовані метеорологічні умови [13].

Прогнозування продуктивності можна проводити як для культур масового використання (пшениця, рис, кукурудза та ін.), так і для мало поширених (лікарські рослини, декоративні культури тощо). При прогнозуванні продуктивності культур і першої, і, зокрема, другої груп існують певні труднощі – це відсутність інфраструктури, дієвих і точних методів, дефіцит коштів та обладнання, нестача фахівців та обслуговуючого персоналу.

У теперішній час існує декілька систем прогнозування врожаю сільськогосподарських культур [14]:

1. Статистичний метод вибіркового обстеження: дорогий і вимагає багато часу, проте забезпечує доволі точні прогнози. Фахівці та допоміжний провінційний персонал потребують навчання й повинні багато їздити по місцях проведення обстежень. Цей метод найкраще використовувати на основі співпраці між державними сільськогоспо-

дарськими службами, науково-дослідними й освітніми установами, а також сільгоспвиробниками.

2. Агрометеорологічний моніторинг та супутникові дані: перспективний метод як компонент обстеження урожаю, швидкий та достовірний. Недолік цього методу – відсутність статистично достовірних залежностей між продуктивністю рослин та певними погодними умовами. Використання супутникового зондування дозволяє розподіляти окремі регіони на урожайні зони, що має багато переваг.

3. Метод експрес-оцінки – швидкий і економічний, проте потребує використання системи звітності про урожай та відповідного обладнання. Крім того, у теперішній час відсутня статистична основа або методологія з інтерполяції даних експрес оцінки на великі площі й регіони.

4. Метод прогнозу врожаю на основі попередніх оцінок фактичних даних густоти стояння рослин та біометричних показників наприкінці вегетації. На кукурудзі вимірюють: кількість рослин на 1 га, кількість, розміри й вагу качанів; на пшениці: щільність посівів, кількість, розміри й вагу колосків; на сої: густоту стояння рослин, кількість, розміри й вагу стручків тощо. Після одержання такої інформації за математичними моделями встановлюють очікуваний рівень продуктивності рослин.

Для оцінки кліматичних змін, за даними ЕІД «Agromet» [15], було розраховано накопичення сум ефективних температур понад 5°C та 10°C за осінній та весняно-літній вегетаційний період пшениці озимої.

Було відмічено помітний щорічний ріст сум позитивних температур за останні 38 років (рис. 1).

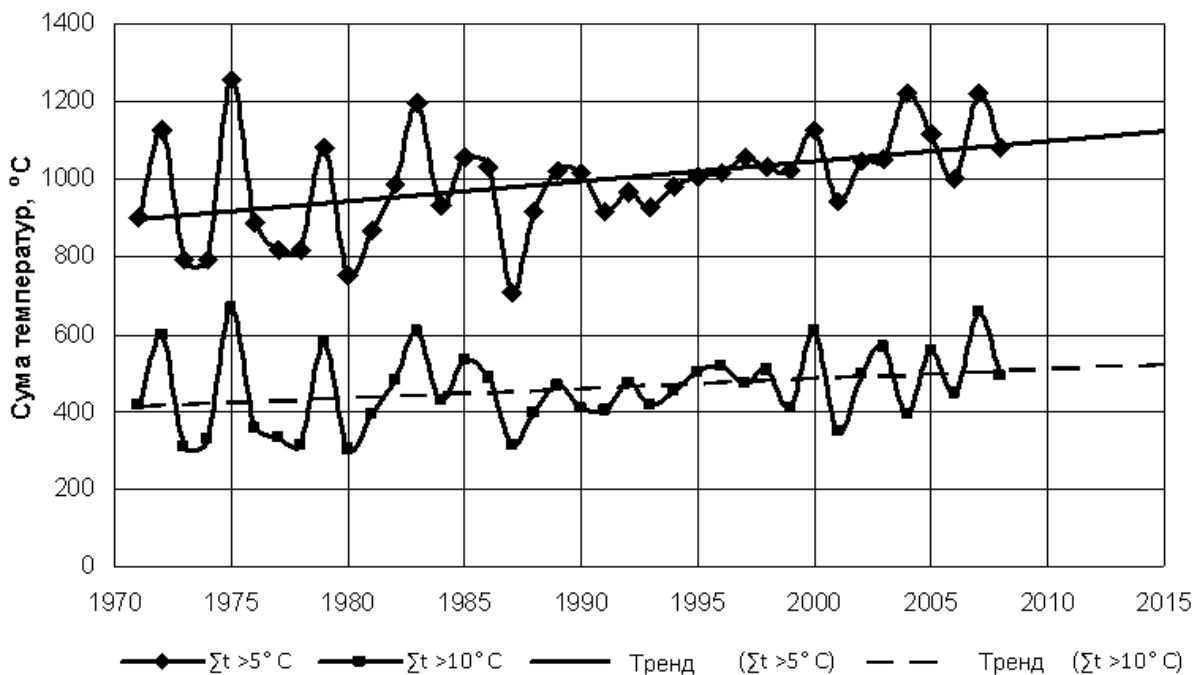


Рисунок 1. Багаторічні коливання сумарних позитивних температур

понад за 5°C та 10°C в період вегетації пшениці озимої та їх прогнозовані значення

Згідно з аналізом температурного режиму встановлена різниця амплітуди коливань сум температур за десяти-двадцятирічними періодами й, особливо, відносно показників сум понад 10°C. Так, період з 1970 по 1985 роки характеризувався істотними коливаннями, які дорівнювали в середньому 57-349°C, а період з 1990 по 2000 роки – відрізнявся стабільністю з відхиленнями від середньоарифметичного показника лише на 12,3-72,8°C. З 2000 року й по теперішній час також відмічається наростання амплітуди відхилень сум температур понад 5 і 10°C, що схоже на тенденцію за 1970-1985 роки.

Аналіз одержаних даних щодо сум атмосферних опадів за вегетаційний період пшениці озимої вказує на зниження їх кількості за досліджуваний період та прогнозовано до 2020 року (рис. 2).

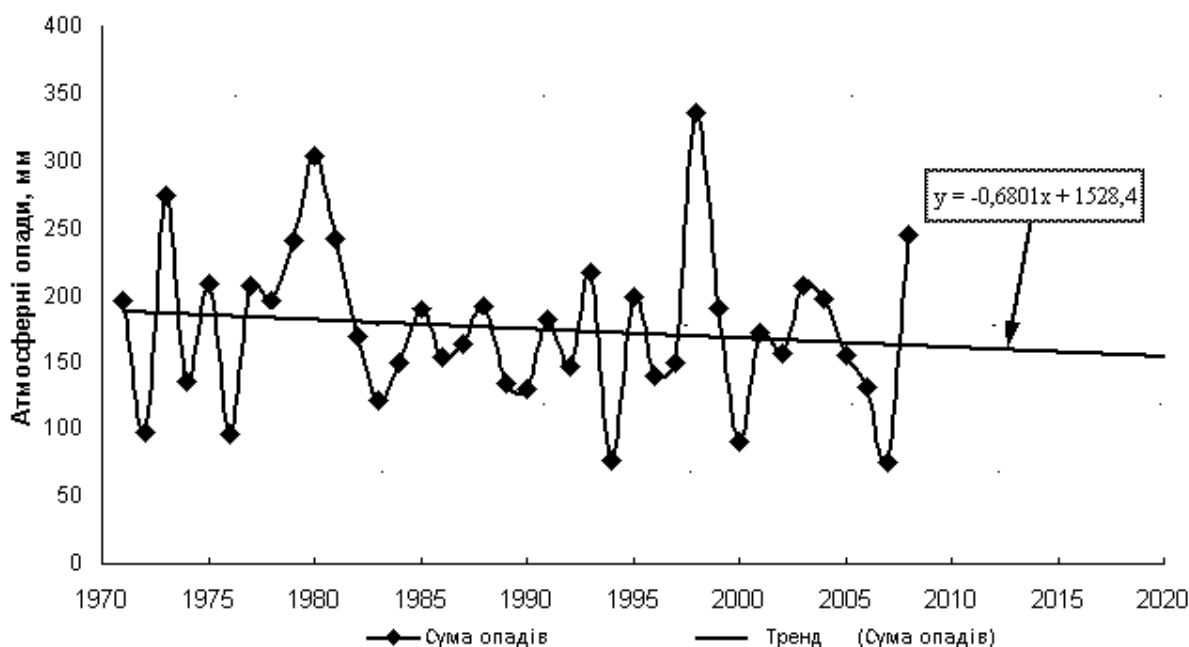


Рисунок 2. Загальна сума опадів за вегетаційний період пшениці озимої (1971-2008 рр.) та прогнозування до 2020 р.

Фактичні показники сум опадів в різні за вологозабезпеченістю роки свідчать про істотну нестабільність надходження природної вологи, що може негативно відобразитись на продуктивності рослин. Крім того, це свідчить про поступово-неминучі зміни умов агроландшафтів зони південного Степу України, що обумовлено глобальним потеплінням клімату на Землі й потребує перегляду й адаптації до нових природних умов технологій вирощування сільськогосподарських культур, у тому числі й пшениці озимої.

По лініях трендів лінійної регресії можна спрогнозувати подальше наростання амплітуди відхилень сум ефективних температур та атмосферних опадів від норми з тенденцією до зростання, що призведе до більш м'якої і теплої погоди в осінній період вегетації пше-

ниці та швидкого наростання температур і дефіциту опадів у весняно-літній період.

Важливим показником, який сукупно характеризує особливості термічного потенціалу та природної вологозабезпеченості, є гідротермічний коефіцієнт (ГТК) [16].

Нашими розрахунками доведено, що у підзоні сухого Степу України відбувається процес поступової аридизації та зменшення показнику гідротермічного коефіцієнта (рис. 3).

У середньому за досліджуваний період ГТК за вегетацію пшениці озимої дорівнював 0,61 з діапазоном довірчого інтервалу від 0,505 до 0,695. Крім того, як бачимо на рисунку, показник ГТК має дуже велику розбіжність по окремих роках (коефіцієнт варіації за досліджуваний період дорівнює 49,7%). Прогнозування за одержаним рівнянням лінійної регресії свідчить про зниження гідротермічного коефіцієнта у 2010 році до 0,39, а у 2015 році – до 0,35, відповідно.

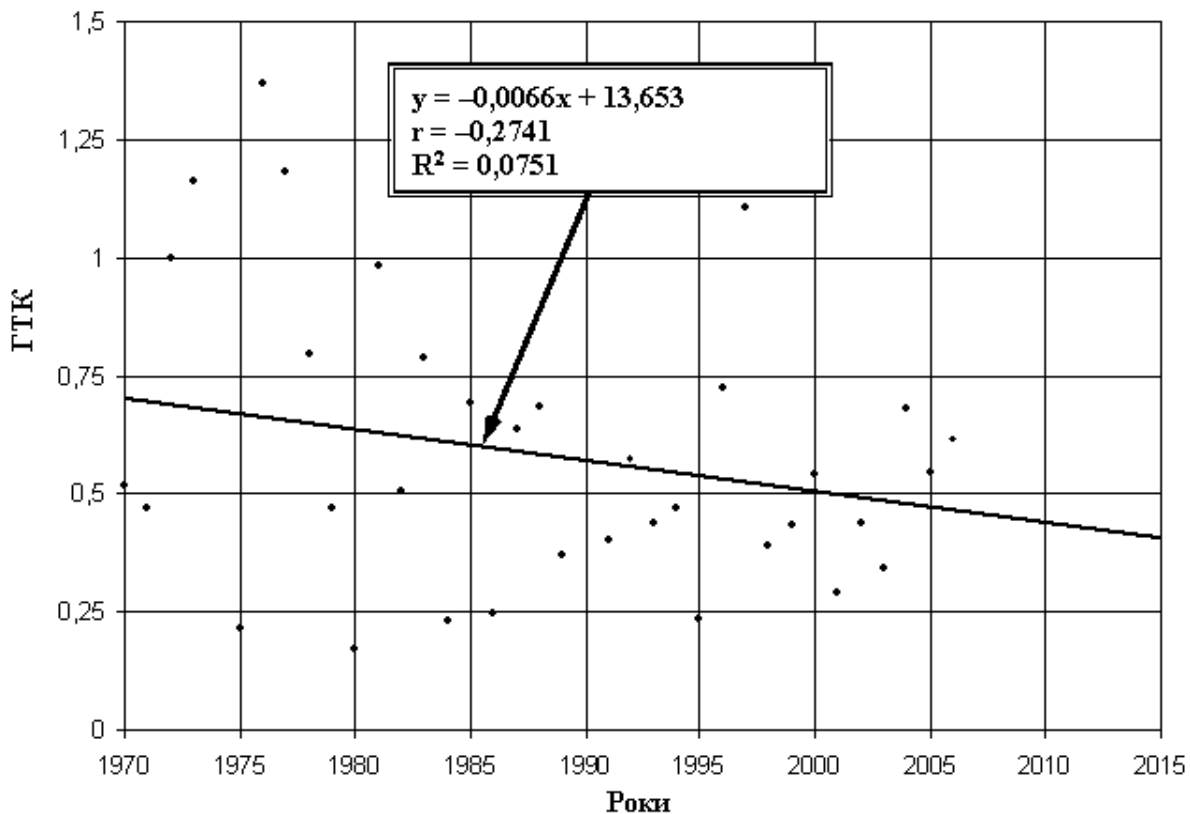


Рисунок 3. Динаміка показників гідротермічного коефіцієнта за вегетаційний період пшениці озимої (1971-2007 рр.) та прогнозування до 2015 р.

Згідно з поставленими завданнями нами проведено збір, систематизацію та узагальнення експериментальних даних польових і лабораторних дослідів, які проведені в зоні зрошення півдня України на південному чорноземі та темно-каштановому середньосуглинковому ґрунті при глибокому рівні залягання ґрунтових вод лабораторіями зрошення, агрохімії та меліоративного ґрунтознавства, а також в ін-

ших наукових підрозділах Інституту землеробства південного регіону УААН [8].

З використанням програмного забезпечення *Microsoft Office Excel 2003* були сформовані бази даних урожайності різних сортів м'якої і твердої озимої пшениці за період 1971 по 2008 рр., які містять інформацію щодо вологозабезпеченості років досліджень, розподілу опадів за осінньо-зимовий та весняно-літній періоди вегетації культури, величини поливних норм за вегетацію та за весняно-літній період, сумарне водоспоживання, суми опадів і зрошувальних норм по періодах і показники врожаю зерна (рис. 4).

Після систематизації ці бази даних були використані для побудови математичних моделей продуктивності досліджуваної культури залежно від природних та технологічних чинників при оптимальному режимі зрошення в умовах південного Степу України.

Рік	Забезпеченість року	Опади, м ³ /га		Зрошувальна норма, м ³ /га		Сумарне водоспоживання шару 0-200 см, м ³ /га	Сума опадів і зрош. норми, м ³ /га	Сума весняно-літніх опадів і зрош. норми, м ³ /га	Врожайність, ц/га
		осінь-весна	весна-літо	всього	весна-літо				
1988	волог.	1458	2435	1700	1050	3914	5593	3485	73,9
1989	серед.	1317	993	2300	1450	4016	4610	2443	89,7
1990	серед.	878	1957	2050	1450	4608	4885	3407	82,4
1991	волог.	2136	1778	2050	1500	4279	5964	3278	64,4
1992	серед.	1258	1138	2050	1550	4347	4446	2688	43
1993	волог.	1713	1622	1800	1050	4016	5135	2672	73,6
1994	волог.	1065	1412	2300	1550	4506	4102	2287	47,6
1996	сухий	2179	669	1950	1600	4929	4798	2269	35,6
1997	волог.	1579	1804	1600	1100	5189	4983	2904	33,7
1998	волог.	2627	2485	800	500	6341	5912	2985	41,2
1999	серед.	1723	1520	1350	1000	5340	4593	2520	58,6
2000	сухий	2206	1264	1400	1100	5126	4870	2364	49,4
2001	волог.	998	1925	400	350	3971	3323	2275	55,9
2002	сухий	1246	1463	700	1500	5351	5009	1463	59,8
2003	сухий	2230	1456	1000	1000	5062	4686	2456	20,2
2004	волог.	1893	2731	1200	800	6138	5824	3531	76,4
2005	серед.	2626	1960	1200	800	6261	5786	2760	57,9
2006	середесух.	2337	1243	-	1000	5122	4580	1243	42,4
2007	сухий	1262	385	1500	2200	4401	3847	1885	52,5
2008	середвол.	1104	2914	1000	500	5347	5018	3914	84,0

Рисунок 4. Зовнішній вигляд Бази даних урожайності зерна пшениці озимої залежно від кількості опадів та величини зрошувальної норми (експериментальні дані лабораторії зрошення ІЗПР УААН [8])

За результатами проведеного математичного моделювання встановлені кореляційно-регресійні зв'язки між продуктивністю пшениці озимої та показниками сум атмосферних опадів окремо або в

сумі зі зрошувальною нормою. Крім того, встановлені закономірності впливу на врожайність досліджуваної культури, диференціації доз азотних і фосфорних добрив. Усі одержані математичні моделі характеризуються середнім та високим ступенем тісноти зв'язків зі зміною коефіцієнтів кореляції (r) від 0,6740 до 0,9345.

За допомогою програми *STATISTICA 6.1* розроблена множинна регресійна модель продуктивності пшениці озимої сорту Херсонська безоста залежно від доз азотних добрив та величини зрошувальної норми (рис. 5), за допомогою якої можна проводити програмування рівня врожаю.

За даними звітів лабораторії зрошення ІЗПР УААН, накопичено інформацію про динаміку врожаю озимої пшениці за період 1971-2008 рр. з урахуванням передпосівних та вегетаційних поливів, які проводилися з Інгулецької зрошувальної системи.

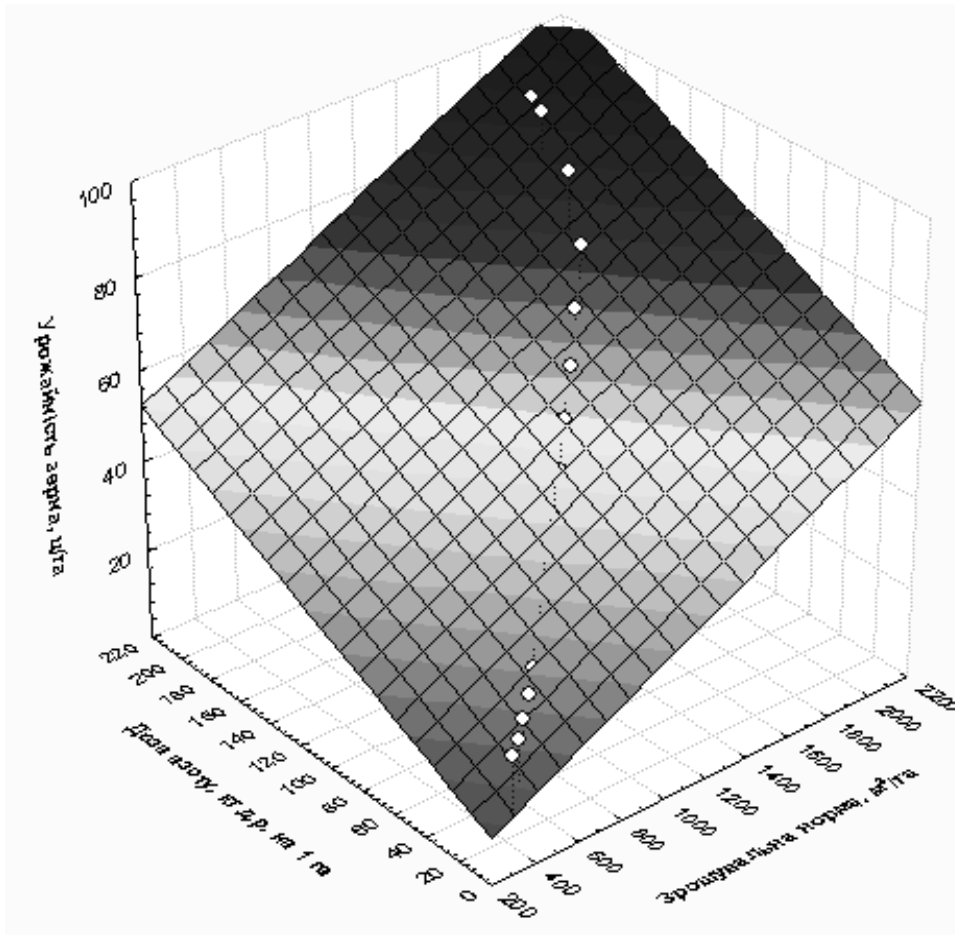


Рисунок 5. Модель урожаю зерна пшениці озимої сорту Херсонська безоста залежно від доз азотних добрив та величини зрошувальної норми:

$$Y = 5,5194 + 0,0253X_1 + 0,1901X_2,$$

де Y – теоретичний рівень урожайності зерна, ц/га;

X_1 – величина зрошувальної норми, м³/га;

X_2 – доза азотного добрива, кг д.р. на 1 га

Використовуючи загальноприйняті методики прогнозування та математичного моделювання формування врожаю, здійснена обробка експериментальних даних з метою оцінки ефективності різних елементів технологій вирощування з урахуванням фактичних та очікуваних агрометеорологічних умов. Встановлено, що середня врожайність озимої пшениці на дослідних полях ІЗПР УААН за 1971-2008 рр. дорівнювала 53,4 ц/га й коливалась від 20,2 ц/га в 2003 р. до 78,1 ц/га в 1986 р., відповідно (рис. 6).

На діаграмі бачимо, що, незважаючи на стимулюючу дію оптимального режиму зрошення, врожайність пшениці озимої знижується, що пов'язано, насамперед, з мінливістю агрометеорологічних умов по роках і потребує вдосконалення існуючої технології вирощування.

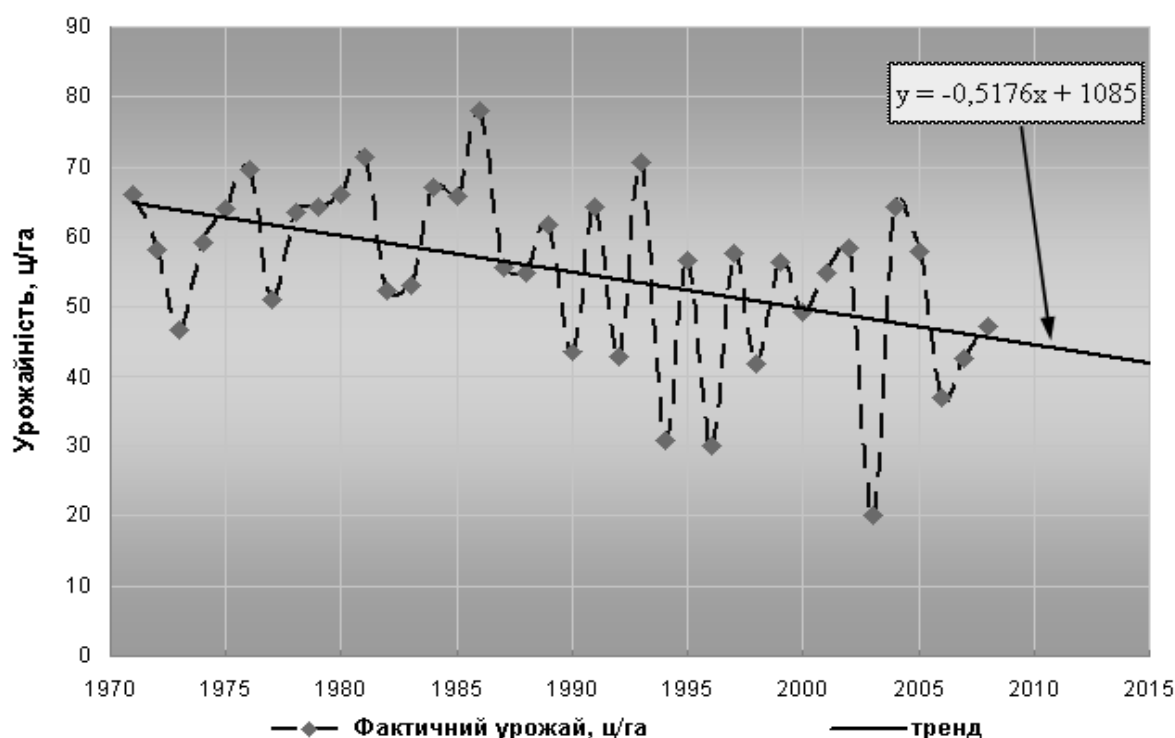


Рисунок 6. Динаміка врожайності озимої пшениці та її трендові значення за період 1970-2015 рр.

Залежність рівня сприятливості агрометеорологічних умов вегетаційного періоду визначалася як відношення фактичного рівня врожайності певного року до її трендового значення за формулою (1) (Тараріко Ю.О. та ін., 2008 [14]):

$$I = U_{\text{факт}} / U_{\text{тренд}}, \quad (1)$$

де I – індекс оцінки агрометеорологічних умов вегетаційного періоду;

$U_{\text{факт}}$ – фактична врожайність, ц/га;

$U_{\text{тренд}}$ – щорічна врожайність по тренду, ц/га, яка розраховується по математичному рівнянню лінійної апроксимації для зони південного Степу України (формула (2):

$$y = -0,527x + 1104, \quad (2)$$

де x – роки.

При проведенні розрахунків за вказаною методикою доведено, що рівень сприятливості агрометеорологічних умов для отримання високого врожаю озимої пшениці може коливатися за досліджуваний період від 0,42 до 1,36 при середньо багаторічному значенні 0,98 (рис. 7).

Великий інтервал коливань рівня сприятливості агрометеорологічних умов, виражений через індекс, спричинений значними коливаннями окремих метеорологічних показників.

Теоретично обґрунтовані вимоги рослин до навколишнього середовища дали можливість використовувати інерційний метод для моделювання впливу агрометеорологічних умов на формування врожайності польових культур протягом періоду вегетації.

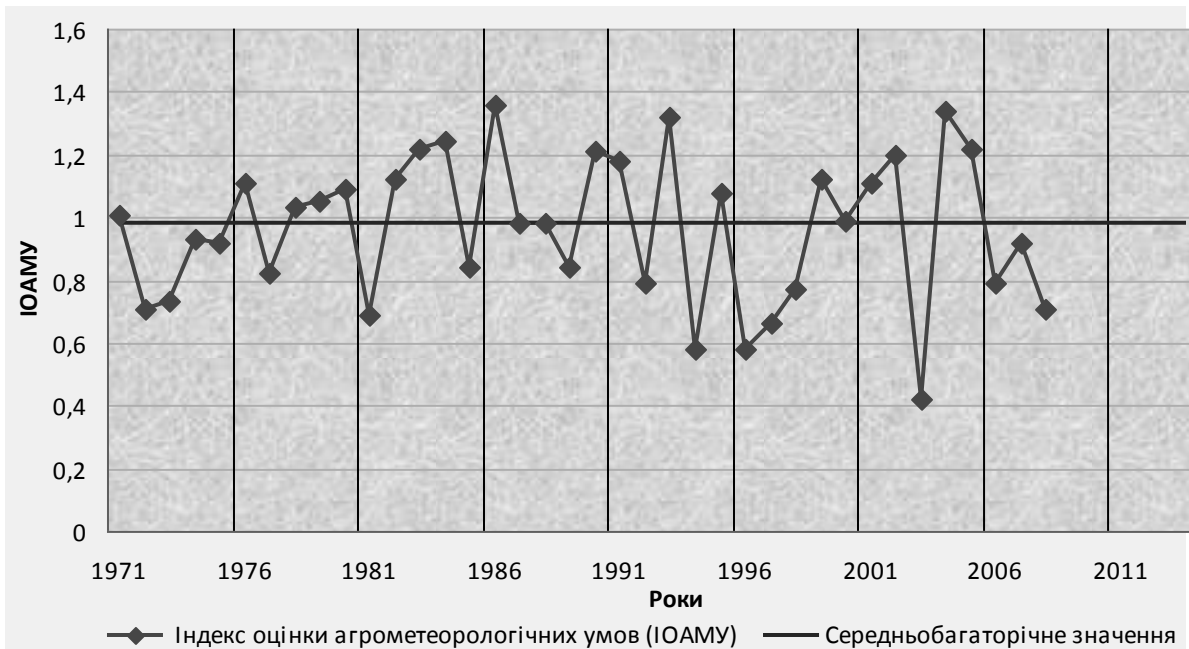


Рисунок 7. *Індекс оцінки агрометеорологічних умов вегетації пшениці озимої за умов оптимального режиму зрошення*

Модель для оцінки індексу сприятливості агрометеорологічних умов протягом весняно-літньої вегетації пшениці озимої складається з комплексу рівнянь множинної регресії другого порядку (формула (3)):

$$I_n = Z_n + a_n T_n + b_n T_n^2 + c_n R_n + d_n R_n^2 + e_n T_n R_n, \quad (3)$$

де n – порядковий номер місяця від 3-7, кожного року;

Z_n – вільний член;

a_n, b_n, c_n, d_n, e_n – коефіцієнти моделі, розраховані через регресію поверхневого откліку, відповідно з урахуванням місяця;

T_n – середньомісячна температура повітря за кожен місяць;

R_n – місячна сума опадів по місяцях вегетації, мм

Розраховуємо річний індекс сприятливості агрометеорологічних умов, як сума впливу кожного окремого місяця з відповідними коефіцієнтами. Та визначаємо прогноз врожайності за формулою (4):

$$Y_{\text{пр}} = I \cdot Y_{\text{тренд}}, \quad (4)$$

де $Y_{\text{пр}}$ – урожайність прогноза, ц/га;

I – індекс оцінки агрометеорологічних умов вегетаційного періоду;

$Y_{\text{тренд}}$ – щорічна врожайність по тренду, ц/га.

Результати розрахунків урожайності озимої пшениці наведено на рисунку 8.

Отримана модель дозволяє одержати показники, які близькі до фактичних, проте виглядає дещо згладжено. Відомо, що на точність прогнозних моделей більшою мірою впливає стабільність погодних умов [14].

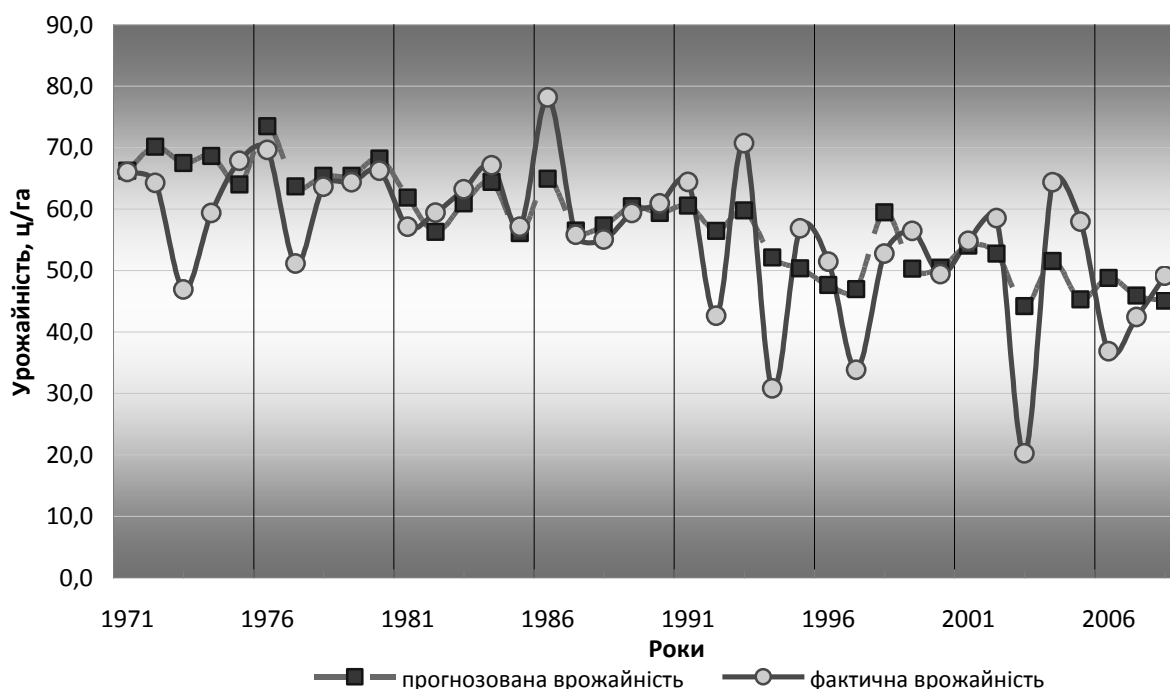


Рисунок 8. Фактична та розрахункова (змодельована) врожайність пшениці озимої при оптимальному режимі зрошення

Слід зауважити, що для зони ризикованого землеробства, до якої відноситься південь України, за рахунок нестійкого та недостатнього зволоження, великої амплітуди добових температур, при розрахунку моделей виникають певні труднощі, які вирішуються за рахунок підбору найбільш вагомих чинників впливу на формування урожаю за вегетаційний період і, в першу чергу, штучного зволоження.

Висновки та пропозиції. Моделювання та прогнозування стану навколишнього середовища за період вегетації пшениці озимої в умовах південного Степу дозволило виявити тенденцію до аридизації та зменшення показника гідротермічного коефіцієнта (ГТК), під-

вищеньня температур повітря (особливо у весняно-літній період) та зменшенням кількості атмосферних опадів.

Збір, систематизація та узагальнення експериментальних матеріалів ІЗПР УААН дозволило сформувати бази даних урожайності пшениці озимої при диференціації умов вирощування.

Створені математичні моделі продуктивності пшениці озимої залежно від природних та технологічних чинників й індексні показники можна використовувати для програмування врожаю, а також для коригування елементів технології вирощування в умовах півдня України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Григор'єв В. І. Водокористування в умовах недостатнього енергопостачання / Григор'єв В. І. // Водне господарство України.- К.: Урожай, 1997.- № 1.- С. 6-9
2. Григоров М. С. Водосберегающие технологии выращивания с.-г. культур. – Волгоград: ВГСХА, 2001.-169 с.
3. Писаренко В.А., Горбатенко В.В., Йокич Д.Р. Режимы орошения сельскохозяйственных культур. – К.: Урожай, 1988. – 96 с.
4. Компанієць В. О. Розвиток і підвищення економічної ефективності виробництва зерна озимої пшениці в регіоні // Дис... канд. екон. наук / Дніпропетровський ДАУ. – Дніпропетровськ, 2005. – С. 74-78.
5. Лисогоров К.С., Писаренко В.А. Наукові основи використання зрошуваних земель у степовому регіоні на засадах інтегрального управління природними і технологічними процесами // Таврійський науковий вісник. – 2007. – Вип. 49. – С 49-52.
6. Писаренко В.А., Мішукова Л.С., Коковіхін С.В., Присяжний Ю.І. Ефективність різних схем режимів зрошення пшениці озимої в умовах південного Степу України // Зрошуване землеробство. – 2008. – Вип. 50. – С. 31-37.
7. Писаренко В.А., Коковіхін С.В., Мішукова Л.С., Щербина З.В. Статистичне моделювання продуктивності зрошуваної пшениці озимої залежно від умов вологозабезпеченості // Зрошуване землеробство. – 2008. – Вип. 49. – С. 195-199.
8. Звіти лабораторії зрошення ІЗПР УААН за 1971-2008 рр.
9. Річні звіти Херсонської агрометеорологічної станції за 1970-2008 рр. – Херсон, ІЗПР, 2009.
10. Харченко О.В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / За рад. академіка УААН В.А. Ушкаренка. – 2-е вид., перероб. і доп.– Суми: Університетська книга, 2003. – 296 с.
11. Ушкаренко В.О., Нікішенко В.Л, Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: Навчальний посібник. – Херсон: Айлант, 2008. – 272 с.
12. Дергач І. В. Розвиток зернового виробництва та його адаптивної інтенсифікації в умовах ринку / Дергач І. В. // Економіка АПК.- 2007.- № 5.- С. 102

13. Мухіна І.А. Прогнозування еколого-економічних процесів у зрошуваному землеробстві 2000 року / Автореф. дис... канд. екон. наук. – Дніпропетр. держ. аграр. ун-т. – Д., 2000. – 19 с.
14. Формування енергогенеруючих біоорганічних агроecosистем. Науково-технологічне забезпечення аграрного виробництва (Північно-Центральний Степ України)/за редакцією Ю.О. Тараріко. – К.: ДІА, 2008. – 152 с., іл.
15. Коковіхін С.В. Іванова Є.І, Коваленко Г.К., Калиновська Т.В. Електронно-інформаційний довідник ЕІД «Agromet». Херсон. – 2009.
16. Селянинов Г.К. Климатическое районирование СССР для сельскохозяйственных целей // В кн.: Памяти академика Л.С.Брега. – М.; Л., 1955. – С. 187-225.