

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ З УРАХУВАННЯМ СЦЕНАРІЮ RCP8.5 В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

ЖИГАЙЛО Т.С. – кандидат сільськогосподарських наук, докторант,

старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-9580-5922

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України

ЖИГАЙЛО О.Л. – кандидат географічних наук, доцент

orcid.org/0000-0002-3552-327X

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

Постановка проблеми. Сучасний розвиток аграрного виробництва в Південному Степу України відбувається в умовах посилення кліматичних змін, які супроводжуються зростанням температури повітря, підвищенням частоти та інтенсивності посух, а також збільшенням кількості екстремальних погодних явищ. За даними досліджень, у степовій зоні України протягом останніх десятиліть спостерігається підвищення середньодобової температури та інтенсифікація посушливих явищ, що негативно впливає на формування врожайності сільськогосподарських культур [1]. Водночас значна частина території регіону вже належить до сухих і дуже сухих зон, площа яких зростає, що обмежує стабільність агровиробництва [2].

Особливо вразливою до цих змін є пшениця озима як стратегічна зернова культура, продуктивність якої суттєво залежить від водного режиму в критичні фази розвитку. За умов кліматичних змін потенціал урожайності сучасних сортів реалізується лише частково (на рівні 45–50%), що свідчить про недостатню адаптивність існуючих агротехнологій до нових кліматичних викликів [3]. Крім того, моделювання впливу кліматичних сценаріїв показує, що за умов високого рівня викидів (сценарій RCP8.5) можливе скорочення тривалості вегетаційного періоду, зниження врожайності пшениці та одночасне зростання потреби в зрошенні [4].

Прогнозні оцінки агрокліматичних ресурсів також свідчать, що саме за сценарієм RCP8.5 у Південному Степу України очікуються найбільш суттєві зміни умов формування врожаю, що зумовлює необхідність перегляду існуючих технологій вирощування культур [5]. У таких умовах зрошення розглядається як один із ключових факторів стабілізації продуктивності, проте його ефективність значною мірою залежить від оптимізації режимів і параметрів водопостачання з урахуванням змін клімату.

Незважаючи на наявність окремих досліджень щодо впливу кліматичних змін на продуктивність сільськогосподарських культур і водоспоживання, питання оптимізації вирощування пшениці озимої із врахуванням кліматичних змін в умовах Південного Степу України залишається недостатньо вивченим. Це зумовлює

необхідність проведення системних досліджень, спрямованих на обґрунтування адаптивних технологічних рішень, які забезпечать стабільність урожайності та ефективне використання водних ресурсів у довгостроковій перспективі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема впливу кліматичних змін на продуктивність пшениці озимої є предметом активних досліджень в Україні та світі. Встановлено, що у степовій зоні відбувається підвищення температури повітря, зміна режиму опадів і посилення посушливості, особливо за сценарієм RCP8.5, що негативно впливає на вологозабезпечення та врожайність культур [5,6]. У роботах, присвячених аграрному сектору України, підкреслюється, що розширення та модернізація систем зрошення є ключовим чинником забезпечення кліматичної стійкості виробництва зернових культур [7].

За багаторічними даними Інституту зрошувального землеробства НААН України, використання зрошення сприяє підвищенню врожайності пшениці озимої у 2–6 разів, ніж у неполивних умовах. Відтак, відновлення й розширення площ зрошуваних земель набуває стратегічного значення для забезпечення продовольчої безпеки та сталого аграрного розвитку південних регіонів України [8,9].

За результатами міжнародних досліджень недостатнє розуміння впливу заходів адаптації призводить до перебільшення негативних наслідків зміни клімату для сільськогосподарських систем. Доведено, що зрошення є одним із ключових адаптаційних заходів до кліматичних змін і дозволяє стабілізувати врожайність пшениці навіть у посушливих умовах. Однак ефективність його застосування значною мірою залежить від оптимального поєднання з іншими агротехнологічними прийомами [10,11].

Разом з тим, результати досліджень свідчать про складність і неоднозначність реакції агроєкосистем на кліматичні зміни. В окремих регіонах прогнозується як зростання потенційної врожайності за рахунок підвищення температури, так і посилення дефіциту вологи, що обмежує реалізацію цього потенціалу [12,13].

Незважаючи на значну кількість наукових праць,



питання оптимізації вирощування пшениці озимої в умовах кліматичних змін Південного Степу України залишається недостатньо дослідженим. Більшість наявних робіт розглядає окремі аспекти (кліматичні зміни, водні ресурси або продуктивність культур), тоді як інтегровані підходи, що поєднують моделювання кліматичних сценаріїв із оптимізацією параметрів зрошення та технологій вирощування, потребують подальшого розвитку.

Мета досліджень полягала у науковому обґрунтуванні та оптимізації вирощування пшениці озимої за сценарієм кліматичних змін RCP8.5 в умовах Південного Степу України з урахуванням раціонального використання зрошення.

Матеріали та методика дослідження. Для дослідження продуктивності пшениці озимої в умовах кліматичних змін без зрошення та на зрошенні використано математичну модель MODSOL-6 [14], адаптовану до культури пшениці озимої.

Модель має ієрархічну структуру та включає сім взаємопов'язаних блоків: початкової інформації, радіаційного і теплового режимів, водного режиму, мінерального живлення рослин, фотосинтезу, дихання, росту та розподілу асимілятів. Параметри моделі оптимізовано з урахуванням біологічних особливостей пшениці озимої, що вирощується в умовах Південного Степу України.

Розрахунки виконано з використанням стандартної декадної метеорологічної інформації, зокрема: тривалості сонячного сйва, середньої та максимальної температури повітря, дефіциту насичення повітря водяною парою, кількості опадів і випаровування.

У моделюванні враховано показники водного режиму ґрунту, зокрема найменшу вологоємність та запаси продуктивної вологи в шарі 0-100 см. Для варіантів із зрошенням задавалися режими поливу та якість

зрошувальної води. Також визначалися початкові біологічні параметри культури та початкові й граничні умови для розв'язання системи рівнянь моделі.

Чисельні експерименти проведено для двох кліматичних періодів: базового (1986–2005 рр.) та прогнозного (2031–2050 рр.) за сценарієм кліматичних змін RCP8.5 (Representative Concentration Pathways), який характеризується високим рівнем викидів парникових газів [15].

Результати дослідження. За результатами моделювання виконано оцінку продуктивності посівів пшениці озимої на період 2031-2050 рр. Встановлено, що в середньому за 20-річний період відновлення весняної вегетації очікується на початку третьої декади березня (22.03), тоді як настання повної стиглості зерна – у першій декаді липня (04.07). Тривалість вегетаційного періоду становитиме в середньому 104 дні. Порівняно з кліматичним періодом 1986-2005 рр. відновлення вегетації зміщується на 9 днів пізніше, тоді як строки досягання практично не змінюються, що зумовлює скорочення тривалості вегетації на 8 днів (табл. 1).

Аналіз міжрічної варіабельності (табл. 2) показав значні коливання строків розвитку. Найраніше відновлення вегетації прогнозується наприкінці лютого, найпізніше – на початку квітня. Формування повної стиглості зерна можливе від третьої декади червня до початку липня. Максимальна тривалість періоду «відновлення вегетації – повна стиглість» може досягати 126 днів.

Оцінка агрокліматичних умов (табл. 3) свідчить про тенденцію до підвищення температурного режиму в майбутньому. За середньої температури повітря, близької до сучасної (14,2 °C проти 14,0 °C), але максимальні температури зростатимуть на 1,2 °C (25,8 °C проти 24,6 °C). Водночас очікується зменшення кількості

Таблиця 1

Фази розвитку пшениці озимої у весняно-літній період вегетації (середні багаторічні дані)

Період	Дата відновлення вегетації	Дата повної стиглості	Тривалість періоду, дні
1986-2005	13.03	03.07	112
2031-2050	22.03	04.07	104
різниця	+9	+1	-8

Таблиця 2

Фази розвитку пшениці озимої у весняно-літній період вегетації в окремі роки (2031–2050 рр.)

№ року	Дата		Тривалість періоду, дні	№ року	Дата		Тривалість періоду, дні
	відновлення вегетації	повної стиглості			відновлення вегетації	повної стиглості	
1	22.03	10.07	110	11	01.03	27.06	119
2	01.03	30.06	122	12	18.03	22.06	96
3	01.03	03.07	125	13	01.03	27.06	119
4	07.04	07.07	91	14	31.03	06.07	98
5	12.03	09.07	119	15	31.03	06.07	98
6	18.03	01.07	105	16	22.03	26.07	95
7	28.03	08.07	102	17	11.03	06.07	118
8	15.03	23.06	100	18	12.03	28.06	109
9	26.02	30.06	126	19	28.03	08.07	102
10	30.03	06.07	99	20	6.03	08.07	113

Таблиця 3

Агрокліматична характеристика весняно-літнього періоду вегетації пшениці озимої

Кліматичний період	Агрокліматичні показники					
	T_{\max} , °C	$T_{\text{сеп.}}$, °C	R, мм	E_o , мм	$E_{\text{ф}}$, мм	V, від. од.
1986-2005	24,6	14,0	167	477	244	0,51
2031-2050	25,8	14,2	148	473	230	0,49
Різниця	+1,2	+0,2	-12%	1%	6%	4%

Примітка: T_{\max} – максимальна температура повітря, °C; $T_{\text{сеп.}}$ – середня температура повітря, °C; R – сума опадів, мм; E_o – вологопотреба, мм; $E_{\text{ф}}$ – вологоспоживання, мм; V – вологозабезпеченість, від.од.

Таблиця 4

Фотосинтетична продуктивність посіву пшениці озимої у весняно-літній період вегетації

Кліматичний період	Показники продуктивності посіву		
	максимальна площа листя, $\text{м}^2/\text{м}^2$	суха загальна біомаса, $\text{г}/\text{м}^2$	урожай зерна, т/га
1986-2005, базовий	3,6	473	2,7
2031-2050 за сценарієм	3,2	447	1,9
Різниця	-0,4	-26	-0,8

Таблиця 5

Сценарні показники фотосинтетичної продуктивності посіву пшениці озимої у весняно-літній період вегетації (2031–2050 рр.)

№ року	Максимальна площа листя, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Суша загальна біомаса, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай зерна, т/га	№ року	Максимальна площа листя, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Суша загальна біомаса, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай зерна, т/га
1	6,9	944	4,2	11	3,4	428	1,7
2	2,2	277	1,2	12	4,8	740	3,5
3	4,4	700	3,3	13	7,0	1077	5,0
4	1,8	200	0,9	14	2,9	369	1,6
5	5,2	720	2,9	15	7,0	1077	5,0
6	7,0	1077	5,0	16	2,6	351	1,5
7	4,0	564	2,5	17	12,9	1760	6,5
8	2,0	249	1,0	18	4,1	650	3,0
9	4,1	650	3,0	19	10,8	1521	6,2
10	4,0	623	2,8	20	6,9	944	3,6

опадів приблизно на 12 %, що призведе до зниження рівня вологозабезпечення посівів за практично незмінної вологопотреби.

Зазначені зміни кліматичних чинників (підвищення температури, зростання радіаційного режиму та зниження вологозабезпечення) зумовляватимуть загальне зниження продуктивності посівів пшениці озимої (табл. 4). Лише в окремі роки прогноуються сприятливі умови для формування високої фотосинтетичної продуктивності (табл. 5), за яких площа листової поверхні та біомаса можуть перевищувати середні багаторічні значення у 4 рази, а врожайність зростати більш ніж на 4 т/га.

Встановлено, що інтенсивність формування листової поверхні у період трубкування-колосіння є визначальним фактором формування біомаси. За умов середньої посухи цей процес відбувається найінтенсивніше, тоді як за сильної та дуже сильної посухи суттєво обмежується. Відповідно, загальна біомаса посівів зменшується зі зростанням інтенсивності посухи.

За період 2031–2050 рр. лише у 6 із 20 років очікуються сприятливі умови для формування високої

врожайності (5,0-6,5 т/га). В інші роки прогноуються різні ступені посухи (ГТК 0,6-0,1), що знижуватимуть врожайність до 0,9-3,5 т/га.

Аналіз динаміки біомаси показав (рис. 1А), що за умов середньої посухи максимальний її приріст припадає на фазу колосіння (до 172 $\text{г}/\text{м}^2$), після чого знижується у зв'язку зі старінням листового апарату. За сильної посухи площа листя та приріст біомаси зменшуються приблизно у 1,5 рази (рис. 1Б), тоді як за дуже сильної посухи – у 2,5-3,5 рази (рис. 1В).

Моделювання режимів зрошення показало їх високу ефективність у компенсації дефіциту вологи. За умов середньої посухи застосування зрошення нормою 2000 $\text{м}^3/\text{га}$ забезпечує підвищення врожайності з 2,5 до 5,1 т/га, що відповідає потенціалу сучасних сортів (табл. 6, рис. 2А).

В умовах сильної посухи зрошення нормою 2000 $\text{м}^3/\text{га}$ забезпечує врожайність на рівні 3,6 т/га (близько 70 % потенційної), однак для досягнення вищих показників необхідне збільшення поливної норми (рис. 2Б).

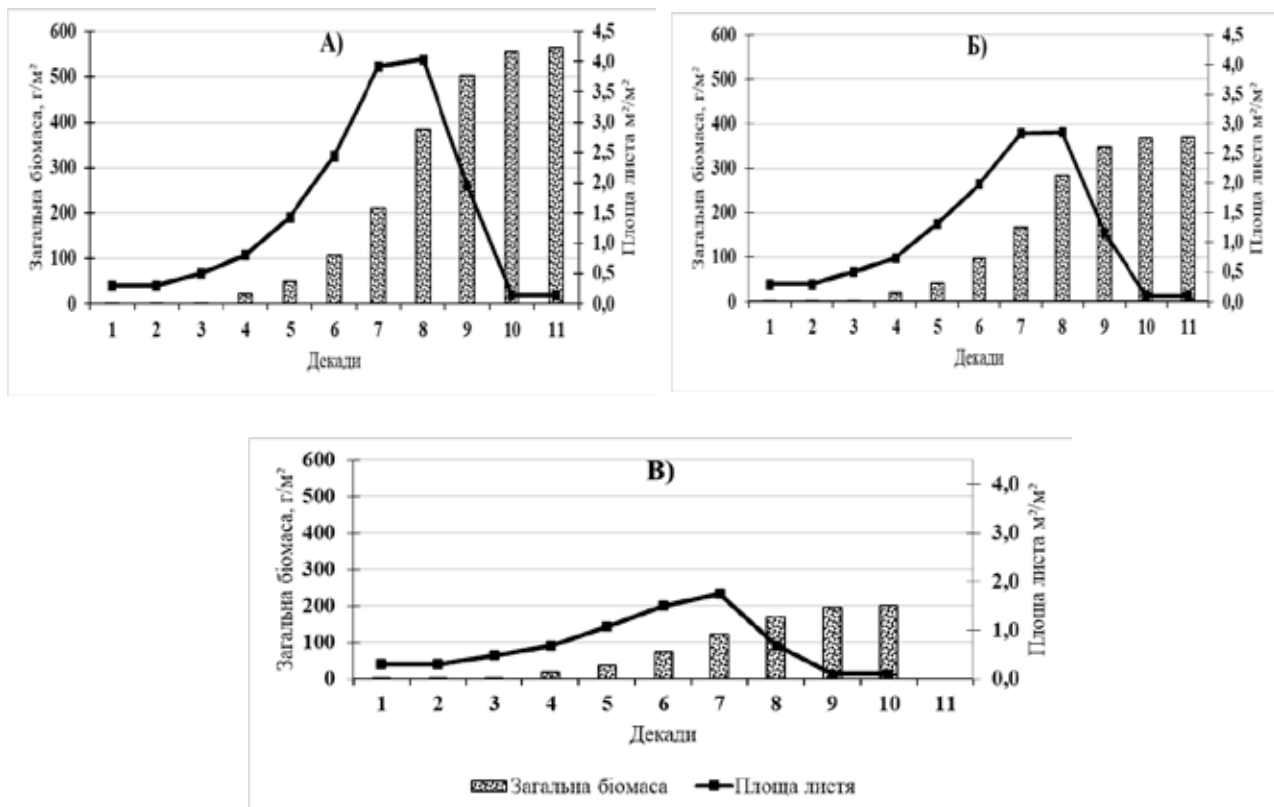


Рис. 1. Динаміка загальної біомаси та площі листя пшениці озимої в неполивних умовах
 А) середня посуха (ГТК – 0,6); Б) сильна посуха (ГТК – 0,4); дуже сильна посуха (ГТК – 0,1)

Таблиця 6

Продуктивність пшениці озимої за різних рівнів посухи (на неполивних і зрошуваних землях)

Умови вирощування	Варіант	Характеристики продуктивності посівів		
		Максимальна площа листя, м²/м²	Суха загальна біомаса, г/м²	Урожай зерна, т/га
Середня посуха, ГТК – 0,6				
Без зрошення	-	4,0	564	2,5
Зрошення	I	6,6	1058	5,1
Сильна посуха, ГТК – 0,4				
Без зрошення	-	2,9	369	1,6
Зрошення	I	5,0	757	3,6
	II	6,2	1026	5,1
Дуже сильна посуха, ГТК – 0,1				
Без зрошення	-	1,8	200	0,9
Зрошення	I	3,8	590	3,0
	II	5,2	800	4,8

За умов дуже сильної посухи навіть при зрошенні 2000 м³/га врожайність становить лише близько 3,0 т/га. Підвищення зрошувальної норми до 4000 м³/га (рис. 2В) з оптимізацією кількості та строків поливів дозволяє істотно підвищити продуктивність посівів (збільшення площі листя до 5 м²/м² та біомаси до 800 г/м²).

Отже, оптимізація режимів зрошення є ключовим фактором стабілізації врожайності пшениці озимої в умовах посилення посушливості клімату.

Висновки. У період 2031–2050 рр. очікується зміщення строків відновлення вегетації пшениці озимої на пізніші дати та скорочення тривалості вегетаційного періоду в середньому на 8 днів. Кліматичні зміни характеризуватимуться підвищенням максимальних температур і зменшенням кількості опадів, що призводитиме до погіршення вологозабезпечення посівів.

Основним обмежувачим фактором формування продуктивності стане дефіцит вологи, який зумовлюватиме

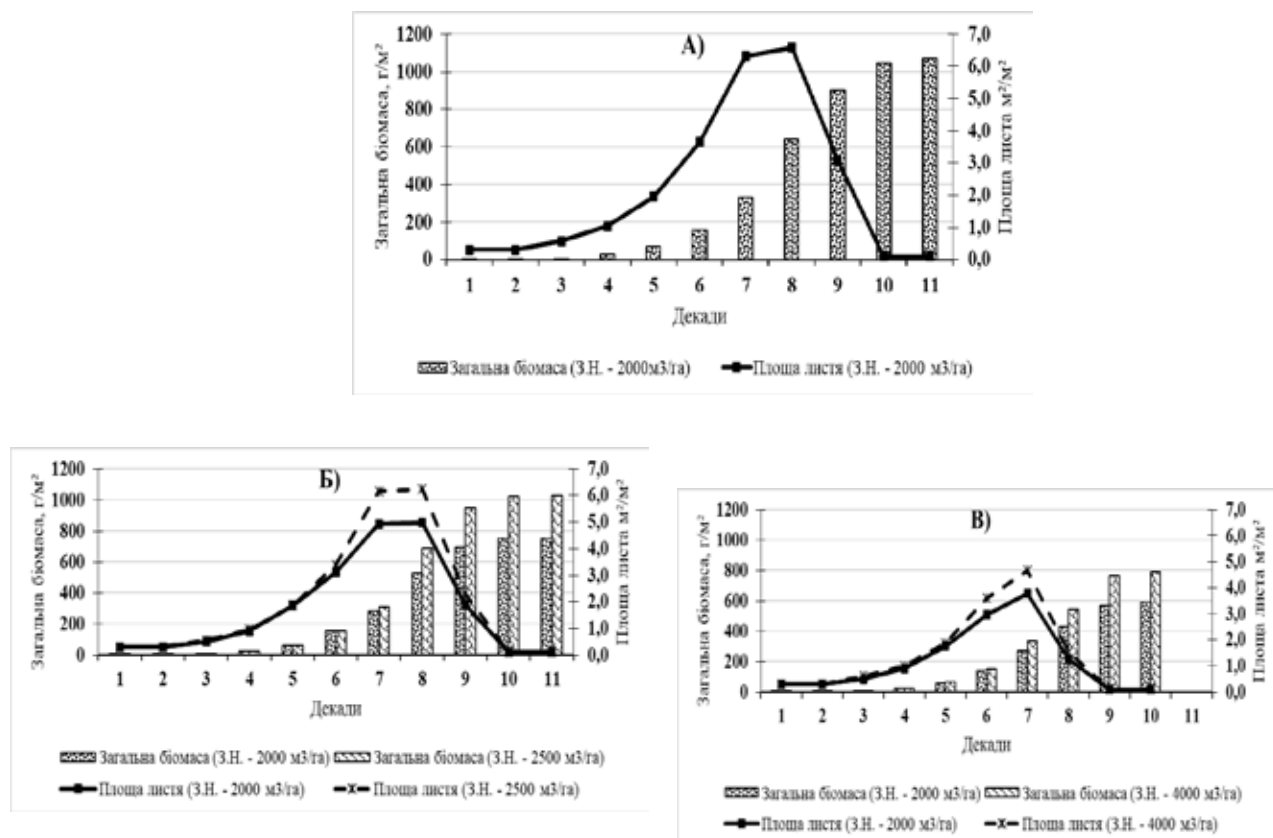


Рис. 2. Динаміка загальної біомаси та площі листя пшениці озимої на зрошенні

А) середня посуха (ГТК – 0,6); Б) сильна посуха (ГТК – 0,4); дуже сильна посуха (ГТК – 0,1)

зниження площі листя, біомаси та врожайності. Лише у 30 % років прогноуються сприятливі умови для формування високої врожайності, тоді як у більшості років домінуватимуть посушливі умови різної інтенсивності.

Зрошення є ефективним заходом підвищення продуктивності: за умов середньої посухи воно дозволяє досягти потенційної врожайності, а за сильної та дуже сильної посухи потребує підвищення зрошувальних норм. Оптимізація режимів зрошення (з урахуванням інтенсивності посухи) забезпечує стабілізацію врожайності пшениці озимої на рівні близько 5 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Жовтоног О., Філіпенко І., Деменкова Т., Поліщук В., Бутенко Ю. Планування зрошення з урахуванням зміни клімату та інтенсивності посух у степовій зоні Південної України. *Меліорація земель та управління водними ресурсами*. 2018. Т. 107 № 1. С. 37-46. <https://doi.org/10.31073/mivg201801-114>
2. Тарарико Ю., Сорока Ю., Саїдак Р. Зміна клімату та економічна ефективність сільськогосподарського виробництва у степовій зоні. *Меліорація земель та управління водними ресурсами*. 2020. № 2. С. 56-69. <https://doi.org/10.31073/mivg202002-256>
3. Базалій Г.Г., Усик Л.О. Адаптивна здатність сортів озимої пшениці та селекційного матеріалу в умовах Південного Степу. *Вивчення та захист сортів рослин*. 2018. Т.14. № 2, С. 183-189. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134770>
4. Chauhdary J. N., Li H., Ragab R., Rakibuzzaman M. et al. Climate Change Impacts on Future Wheat (*Triticum aestivum*) Yield, Growth Periods and Irrigation Requirements: A SALTMED Model Simulations Analysis. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. Issue 7, P. 1484; <https://doi.org/10.3390/agronomy14071484>
5. Ляшенко Г.В., Данілова Н.В., Колосовська В.В., Толмачова А.В. Тенденція зміни агрокліматичних умов формування урожайності проса до 2050 року в Степовій зоні України. *Український гідрометорологічний журнал*. 2022. № 29, С. 20-31. <https://doi.org/10.31481/uhmj.29.2022.02>
6. Польвий А.М., Шаблій О.В. Радіаційно-теплові ресурси степової зони України на період до 2050 р. під впливом змін клімату *Український гідрометорологічний журнал*. 2016. № 18. С. 82-89. <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.0>
7. Romashchenko M. I., Yatsyuk M. V., Shevchenko A. M. Irrigation development and its role in ensuring food security under climate change in Ukraine. *Land Reclamation and Water Management*. 2020. № 1. P. 5-14. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>
8. Вожегова Р. А. Напрями адаптації галузі рослинництва до регіональних змін клімату. Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти. Збірник тез II Міжнарод. наук.-практ. конф., 10-12 квітня 2019 року. Київ – Миколаїв – Херсон : ДУ НМЦ «Агроосвіта». 2019. С. 6-8.
9. Гамаюнова В.В. Вирощування пшениці озимої на зрошенні на засадах біологізації: науково-практичні рекомендації. Миколаїв: МНАУ, 2019. 40 с.

10. Gao Y., Wang L., Yue Y. Impact of irrigation on vulnerability of winter wheat under extreme climate change scenario: a case study of North China Plain. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024. Vol. 7:1291866. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1291866>
11. Tanaka A., Takahashi K., Masutomi Y., Hanasaki N. et al. Adaptation pathways of global wheat production: Importance of strategic adaptation to climate change. *Scientific Reports*. 2015. Vol. 5 14312. <https://doi.org/10.1038/srep14312>.
12. Asseng S., Ewert F., Rosenzweig C., Jones J. W. et al. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*. 2015. Vol. 5. P. 143-147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
13. Zhao C., Liu B., Piao S., Wang X. et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2017. Vol. 114, № 35. P. 9326-9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>
14. Polevoy A.N., Khokhlenko T.N. Modeling agricultural crop yield on irrigated chernozems of the Danube province. *Eurasian Soil Science*. 1996. Vol. 28. Is. 12. P.280-290.
15. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: Вид. «ТЕС», 2018. 548 с.
10. Gao Y., Wang L., & Yue Y. (2024). Impact of irrigation on vulnerability of winter wheat under extreme climate change scenario: a case study of North China Plain. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. Vol. 7:1291866. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1291866>
11. Tanaka, A., Takahashi, K., Masutomi, Y., & Hanasaki, N. (Eds.). (2015). Adaptation pathways of global wheat production: Importance of strategic adaptation to climate change. *Scientific Reports*. Vol. 5. 14312. <https://doi.org/10.1038/srep14312>.
12. Asseng, S., Ewert, F., Rosenzweig, C., & Jones, J. W. (Eds.). (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*. Vol. 5. P. 143-147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
13. Zhao, C., Liu, B., Piao, S., & Wang, X. et al. (2017) Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. Vol. 114, № 35. P. 9326-9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>
14. Polevoy A.N., & Khokhlenko T.N. (1996). Modeling agricultural crop yield on irrigated chernozems of the Danube province. *Eurasian Soil Science*. Vol. 28. Is. 12. P.280-290.
15. Stepanenko, S.M., & Polovyi, A.M. (Eds.). (2018). *Klimatychni ryzyky funktsionuvannya haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Climate risks of the functioning of the branches of the economy of Ukraine in the context of climate change]*. Odessa: «TES», 548 [in Ukrainian].
16. Polovyi, A.M., & Shablii, O.V. (2016). Radiatsiino-teplovi resursy stepovoi zony Ukrainy na period do 2050 r. pid vplyvom zmin klimatu [Radiation and temperature resources of the Steppe zone of Ukraine under climate change conditions until 2050]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal*, (18), 82-89. <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.0> [in Ukrainian].
17. Romashchenko, M.I., Yatsiuk, M.V., & Shevchenko, A.M. (2020). Irrigation development and its role in ensuring food security under climate change in Ukraine. *Land Reclamation and Water Management*, 1, 5-14. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>
18. Vozhehova, R.A. (2019). Napriamy adaptatsii haluzi roslinnytstva do rehionalnykh zmin klimatu. Klimatychni zminy ta silske hospodarstvo. Vyklyky dlia aharnoї nauky ta osvity [Directions of adaptation of the crop production sector to regional climate changes. Climate change and agriculture. Challenges for agricultural science and education]. *Zbirnyk tez II Mizhnarod. nauk.-prakt. konf., 10-12 kvitnya 2019 roku. Kyiv – Mykolayiv – Kherson : DU NMTS «Ahroosvita»*, 6-8 [in Ukrainian].
19. Hamaiunova, V.V. (2019). *Vyroshchuvannya pshenytsi ozymoi na zroshenni na zasadakh biolohizatsii [Growing winter wheat under irrigation based on biologization]*. Mykolayiv: MNAU, 40 [in Ukrainian].

REFERENCES:

1. Zhovtonoh, O., Filipenko, I., Demenkova, T., Polishchuk, V., & Butenko, YU. (2018). Planuvannya zroshennia z urakhuvanniam zminy klimatu ta intensyvnosti posukh u stepovii zoni Pivdennoi Ukrainy [Irrigation planning taking into account climate change and drought intensity in the steppe zone of Southern Ukraine]. *Melioratsiia zemel ta upravlinnia vodnymy resursamy*, 107 (1), 37-46. <https://doi.org/10.31073/mivg201801-114> [in Ukrainian].
2. Tararyko, Yu., Soroka, Yu., & Saydak, R. (2020). Zmina klimatu ta ekonomichna efektyvnist silskohospodarskoho vyrobnytstva u stepovii zoni [Climate change and economic efficiency of agricultural production in the steppe zone]. *Melioratsiia zemel ta upravlinnia vodnymy resursamy*, 56-69. <https://doi.org/10.31073/mivg202002-256> [in Ukrainian].
3. Bazaliy, H.H., & Usyk, L.O. (2018). Adaptivna zdattnist sortiv ozymoi pshenytsi ta selektsiinoho materialu v umovakh Pivdennoho Stepu [Adaptive ability of winter wheat varieties and breeding material in the conditions of the Southern Steppe]. *Vyvchennia ta zakhyst sortiv roslyn*, 14(2), 183-189 <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134770> [in Ukrainian].
4. Chauhdary, J. N., Li, H., Ragab, R., & Rakibuzzaman, M. (Eds.). (2024). Climate Change Impacts on Future Wheat (Triticum aestivum) Yield, Growth Periods and Irrigation Requirements: A SALTMED Model Simulations Analysis. *Agronomy*. Vol. 14. Is. 7, P. 1484 <https://doi.org/10.3390/agronomy14071484>
5. Liashenko, H.V., Danylova, N.V., Kolosovska, V.V., & Tolmachova, A.V (2022). Tendentsiia zminy

Жигайло Т.С., Жигайло О.Л. Оптимізація вирощування пшениці озимої з урахуванням сценарію RCP8.5 в умовах Південного Степу України

Мета. Наукове обґрунтування та оптимізація вирощування пшениці озимої в умовах кліматичних змін за сценарієм RCP8.5 у Південному Степу України з урахуванням раціонального використання зрошення.

Методика. Для оцінювання продуктивності культури застосовано математичну модель MODSOL-6, адаптовану до біологічних особливостей пшениці озимої. Модель описує основні процеси формування врожаю та включає блоки радіаційного і теплового режимів, водного балансу, мінерального живлення, фотосинтезу, дихання, росту і розподілу асимілятів. Розрахунки виконано на основі декадних метеорологічних даних із урахуванням показників водного режиму ґрунту та параметрів зрошення. Чисельні експерименти проведено для базового (1986–2005 рр.) і прогнозного (2031–2050 рр.) періодів. **Результати.** Встановлено зміщення строків відновлення весняної вегетації в середньому на 9 днів пізніше та скорочення тривалості вегетаційного періоду приблизно на 8 днів. Виявлено значну міжрічну варіабельність фаз розвитку культури. Прогнозується підвищення максимальних температур і зменшення кількості опадів близько на 12 %, що призводитиме до погіршення вологозабезпечення посівів. Дефіцит вологи визначено як основний лімітуючий фактор, який обмежує формування листової поверхні, інтенсивність фотосинтезу, накопичення біомаси та врожайність. Показано, що лише близько 30 % років будуть сприятливими для формування високої врожайності, тоді як у більшості років домінуватимуть посушливі умови, що знижуватимуть урожайність до 0,9–3,5 т/га. За умов середньої посухи максимальний приріст біомаси, що припадає на фазу колосіння становитиме лише 172 г/м², за посиленням інтенсивності посухи він суттєво зменшується (в 1,5...3,5 рази). Моделювання довело високу ефективність зрошення: за середньої посухи полив нормою 2000 м³/га забезпечує врожайність понад 5 т/га, тоді як за сильних посух необхідне збільшення поливних норм до 4000 м³/га. **Висновки.** Кліматичні зміни за сценарієм RCP8.5 спричинятимуть підвищення температур і зниження вологозабезпечення, що негативно впливатиме на продуктивність пшениці озимої. Основним обмежуючим фактором є дефіцит вологи. Оптимізація режимів зрошення з урахуванням інтенсивності посухи є ключовим чинником стабілізації врожайності та забезпечення ефективного вирощування культури в умовах Південного Степу України.

Ключові слова: кліматичні зміни, агрокліматичні умови, фотосинтетична продуктивність, моделювання врожайності, посушливі явища, режим поливу.

Zhygailo T.S., Zhygailo O.L. Optimization of Winter Wheat Cultivation under the RCP8.5 Scenario in the Southern Steppe of Ukraine

Objective. The study aims to provide a scientific basis and optimize winter wheat cultivation under climate change conditions according to the RCP8.5 scenario in the Southern Steppe of Ukraine, taking into account the rational use of irrigation. **Methodology.** The productivity of the crop was assessed using the MODSOL-6 mathematical model adapted to the biological characteristics of winter wheat. The model describes the main processes of yield formation and includes interconnected modules of radiation and thermal regimes, water balance, mineral nutrition, photosynthesis, respiration, growth, and assimilate distribution. Calculations were performed based on decadal meteorological data, considering soil water regime parameters and irrigation characteristics. Numerical experiments were conducted for the baseline (1986–2005) and projected (2031–2050) periods. **Results.** The study revealed a shift in the timing of spring vegetation renewal by an average of 9 days later, along with a reduction in the duration of the growing season by approximately 8 days. Significant interannual variability in crop development phases was identified. Climate projections indicate an increase in maximum air temperatures and a decrease in precipitation by about 12%, leading to reduced water availability for crops. Moisture deficit was identified as the main limiting factor affecting leaf area formation, photosynthetic intensity, biomass accumulation, and yield. It was found that only about 30% of years are expected to be favorable for achieving high yields, while in most years drought conditions of varying intensity will prevail, reducing yields to 0.9–3.5 t/ha. Under moderate drought conditions, the maximum biomass increase occurs during the heading phase and reaches about 172 g/m², while with increasing drought intensity it decreases significantly by 1.5–3.5 times. Irrigation modeling demonstrated high efficiency: under moderate drought, irrigation with a rate of 2000 m³/ha ensures yields exceeding 5 t/ha, whereas under severe drought conditions, increasing irrigation rates up to 4000 m³/ha is required to maintain productivity.

Conclusions. Climate change under the RCP8.5 scenario will lead to rising temperatures and decreased water availability, negatively affecting winter wheat productivity. Moisture deficit is identified as the key limiting factor. Optimization of irrigation regimes, taking into account drought intensity, is a crucial measure for stabilizing yields and ensuring efficient cultivation of winter wheat in the Southern Steppe of Ukraine.

Key words: climate change, agroclimatic conditions, photosynthetic capacity, yield modeling, drought stress, irrigation scheduling.

Дата першого надходження статті до видання: 01.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026