УДК 633.11:631.559:551.577.38:551.583(477.74)
DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.151.6

ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ ПОСУХИ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА УМОВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Жигайло Т.С. *– к.с.-г.н., докторант,*
старший науковий співробітник відділу кліматично орієнтованих агротехнологій,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-9580-5922
Вольвач О.В. *– к.геогр.н., доцент,*
завідувачка кафедри агрометеорології та агроекології,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
orcid.org/0000-0002-6650-758X
Жигайло О.Л. *– к.геогр.н.,*
доцент кафедри агрометеорології та агроекології,
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
orcid.org/0000-0002-3552-327X

У статті наведено результати оцінювання впливу інтенсивності посухи на формування продуктивності пшениці озимої в умовах прогнозованих кліматичних змін в Одеській області. Актуальність дослідження зумовлена посиленням процесів аридизації клімату, підвищенням повторюваності екстремальних посушливих явищ та необхідністю наукового обґрунтування адаптаційних заходів для забезпечення стабільного виробництва зерна в умовах сучасних кліматичних викликів.

Метою дослідження було оцінювання закономірностей впливу різної інтенсивності посухи на агрометеорологічні умови, особливості проходження фенологічних фаз розвитку, формування листкової поверхні, накопичення біомаси та врожайність пшениці озимої в Одеській області за умов прогнозованих змін клімату.

Дослідження виконано із застосуванням математичної моделі «Урожай», адаптованої до природно-кліматичних умов регіону. Розрахунки проведено для базового періоду 1986–2015 рр. та прогнозного періоду 2026–2050 рр. за кліматичним сценарієм RCP 8.5. На першому етапі здійснено просторову оцінку розвитку посушливих явищ у межах природно-кліматичних зон Одеської області, після чого виконано детальне моделювання продуційного процесу пшениці озимої для найбільш уразливої до аридизації південної частини регіону.

Встановлено, що до середини XXI століття в Одеській області очікуватиметься подальше посилення посушливості клімату та збільшуватиметься повторюваність сильної і дуже сильної посухи, причому найбільш несприятливі умови формуватимуться у південних і прибережних районах. Показано, що зі зростанням інтенсивності посухи змінюватимуться агрометеорологічні умови, зміщуватимуться строки проходження фенологічних фаз, зменшуватимуться площа листкової поверхні, накопичення сухої біомаси та біомаси колоса. За сильної посухи урожайність зерна прогнозуватиметься на рівні 1,4 т/га, тоді як за дуже сильної посухи знижуватиметься до 0,7–0,8 т/га, що становитиме лише 28–32 % від середнього багаторічного рівня.

Отримані результати підтверджують високу чутливість продуційного процесу пшениці озимої до посилення посушливості клімату та можуть бути використані для прогнозування продуктивності культури, оцінювання агрокліматичних ризиків і наукового обґрунтування адаптивних технологій вирощування в умовах кліматичних змін.

Ключові слова: *аридизація клімату, сценарій RCP 8.5, агрокліматичні ризики, гідротермічний коефіцієнт, математичне моделювання, фенологічний розвиток, продуційний процес, урожайність, адаптація землеробства.*

© Жигайло Т.С., Вольвач О.В., Жигайло О.Л., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Zhygailo T.S., Volvach O.V., Zhygailo O.L. Impact of drought intensity on winter wheat productivity under climate change conditions in Odesa region

The study presents the results of assessing the impact of drought intensity on winter wheat productivity under projected climate change conditions in the Odesa region of Ukraine. Increasing climate aridization and the growing frequency of severe drought events pose significant challenges to grain production, emphasizing the need for scientifically based adaptation strategies.

The aim of the study was to evaluate the effects of different drought intensities on agrometeorological conditions, phenological development, leaf area formation, biomass accumulation, and grain yield of winter wheat under projected climate change.

The assessment was carried out using the Crop Yield simulation model adapted to the environmental conditions of the study area. Simulations were performed for the baseline period (1986–2015) and the projected period (2026–2050) under the RCP 8.5 climate scenario. The first stage involved a spatial assessment of drought occurrence across the natural and climatic zones of the Odesa region. Subsequently, a detailed simulation of winter wheat productivity was conducted for the southern part of the region, identified as the most vulnerable to increasing aridity.

The simulation results indicate that by the middle of the twenty-first century drought conditions in the Odesa region are expected to intensify, with a higher frequency of severe and extreme droughts, particularly in the southern and coastal areas. Increasing drought intensity will alter agrometeorological conditions, shift the timing of phenological stages, reduce maximum leaf area, decrease total dry biomass and ear biomass, and consequently lower grain yield. Under severe drought conditions (HTC = 0.51), grain yield is projected to decrease to 1.4 t/ha, whereas under very severe drought conditions (HTC = 0.39–0.25) it is expected to decline to 0.7–0.8 t/ha, representing only 28–32% of the long-term average.

The obtained results confirm the high sensitivity of the winter wheat production process to increasing drought intensity and may serve as a scientific basis for assessing agroclimatic risks, forecasting crop productivity, and developing climate adaptation strategies for sustainable grain production under future climate change.

Key words: *climate aridization, agroclimatic risks, RCP 8.5 scenario, hydrothermal coefficient, mathematical modelling, crop production process, grain yield, phenological development, agricultural adaptation.*

Актуальність теми дослідження. Пшениця озима (Triticum aestivum L.) є однією з провідних зернових культур світу, яка забезпечує вагому частку світового виробництва продовольчого зерна та відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки. Для України вона є стратегічною культурою, що формує основу зернового виробництва та залишається одним із головних експортних товарів аграрного сектору. Реалізація високого продуктивного потенціалу сучасних сортів пшениці озимої значною мірою визначається агрокліматичними умовами вирощування, насамперед температурним режимом і вологозабезпеченням упродовж критичних етапів росту та розвитку рослин [1, 2].

Сучасні зміни клімату супроводжуються підвищенням температури повітря, зміною режиму атмосферних опадів, збільшенням частоти та інтенсивності посушливих явищ, що істотно впливає на функціонування агроекосистем. У Шостій оціночній доповіді IPCC зазначено, що екстремальні погодні явища, зокрема посухи та хвилі спеки, стають дедалі частішими й інтенсивнішими, створюючи серйозні ризики для сільськогосподарського виробництва [3, 4]. За оцінками OECD та FAO, забезпечення стабільного виробництва зерна в умовах кліматичних змін є одним із ключових викликів світового аграрного сектору [5].

Численні міжнародні дослідження підтверджують негативний вплив кліматичних змін на продуктивність основних сільськогосподарських культур. Зокрема, встановлено, що антропогенна зміна клімату вже призвела до уповільнення темпів зростання світової продуктивності сільського господарства [6]. Підвищення температури повітря та дефіцит вологи супроводжуються стійким зниженням урожайності пшениці й інших зернових культур [7–10]. Сучасні оглядові дослідження

також свідчать, що поєднання високих температур із посухою значно посилює негативний вплив на формування врожаю, тоді як ефективна адаптація агротехнологій є визначальною умовою збереження продуктивності агроекосистем [11].

Для України проблема адаптації землеробства до змін клімату набуває особливої актуальності, оскільки степова зона належить до територій із найвищим рівнем кліматичної вразливості. Наукові дослідження свідчать про тенденцію до аридизації клімату, зростання повторюваності посушливих періодів і погіршення умов вологозабезпечення сільськогосподарських культур, особливо в південних регіонах країни [12–15]. У концепції кліматично орієнтованого сільського господарства, розробленій науковцями Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України, обґрунтовано необхідність впровадження адаптивних технологій вирощування культур, спрямованих на підвищення стійкості агроекосистем до кліматичних ризиків і забезпечення стабільного виробництва продукції [16, 17].

Незважаючи на значну кількість досліджень, недостатньо висвітленими залишаються питання кількісної оцінки впливу різної інтенсивності посухи на формування продуктивності пшениці озимої в умовах прогнозованих змін клімату півдня Одеської області із застосуванням сучасних методів агроекологічного моделювання. Саме це зумовлює актуальність проведеного дослідження, спрямованого на оцінювання реакції культури на посилення посушливості клімату та наукове обґрунтування адаптаційних заходів для забезпечення стабільного виробництва зерна.

Постановка проблеми. Посуха є одним із найнебезпечніших проявів сучасних кліматичних змін, що істотно обмежує реалізацію продуктивного потенціалу сільськогосподарських культур, особливо в умовах Степу України. На півдні Одеської області, де природне вологозабезпечення вже є недостатнім, прогнозоване підвищення температури повітря, нерівномірний розподіл атмосферних опадів та зростання випаровуваності сприятимуть посиленню аридизації клімату й збільшенню повторюваності сильної та дуже сильної посухи. За таких умов традиційні технології вирощування пшениці озимої можуть втрачати ефективність, що супроводжуватиметься зниженням урожайності та нестабільністю виробництва зерна.

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених впливу кліматичних чинників на продуктивність зернових культур, недостатньо вивченими залишаються закономірності формування продуційного процесу пшениці озимої залежно від інтенсивності посухи в прогнозних агрокліматичних умовах. Особливого значення набуває кількісне оцінювання реакції культури на різні рівні дефіциту вологи із застосуванням математичних моделей, що дають змогу прогнозувати зміни продуктивності, визначати критичні етапи розвитку рослин та обґрунтовувати адаптаційні заходи.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу різної інтенсивності посухи на особливості проходження фенологічних фаз, агрометеорологічні умови, формування асиміляційної поверхні, накопичення біомаси та врожайність пшениці озимої в умовах прогнозованих кліматичних змін півдня Одеської області.

Методика досліджень. Дослідження виконано із застосуванням методів математичного моделювання продуктивності посівів пшениці озимої в природно-кліматичних умовах Одеської області.

Для оцінювання формування продуктивності пшениці озимої використано математичну модель «Урожай», яка дає змогу моделювати вплив агрометеорологічних чинників на ріст, розвиток рослин, формування листкової поверхні, накопичення сухої біомаси та врожайність зерна [18, 19].

Параметри моделі адаптовано до біологічних особливостей пшениці озимої, яка вирощується в природно-кліматичних умовах Одеської області.

Чисельні розрахунки проведено для двох кліматичних періодів: 1986–2015 рр. – базового, сформованого за даними багаторічних агрокліматичних спостережень [20], та 2026–2050 рр. – прогнозного за сценарієм RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway), що передбачає високий рівень концентрації парникових газів в атмосфері та використовується для оцінювання можливих наслідків змін клімату [21].

Для розрахунків за моделлю використовувалась стандартна агрометеорологічна інформація: географічна широта, фази розвитку рослин, кількість годин сонячного сяйва, середня температура повітря, кількість опадів, дефіцит вологості в повітрі, найменша вологоємність і запаси продуктивної вологи в ґрунті, випаровування та ін.

Дослідження охоплювали природно-кліматичні зони/підзони Одеської області, які характеризуються різними умовами теплозабезпечення та природного зволоження (рис. 1).

Результати досліджень. Результати сценарного моделювання за сценарієм високих викидів парникових газів RCP 8.5 свідчать про подальше посилення аридизації клімату на території Одеської області у 2026–2050 рр., що проявлятиметься не лише у зростанні інтенсивності, а й у зміні просторового розподілу посушливих явищ (табл. 1). Аналіз прогнозних даних виявив чіткий градієнт збільшення посушливості від лісостепової зони до південностепової підзони області, що обумовлено поєднанням високого температурного режиму, недостатнього атмосферного зволоження та значної випаровуваності.

Найсприятливіші агрокліматичні умови прогнозуються для північної частини області. Так, у Любашівці середнє значення індексу посухи становить 0,92, що відповідає переважно слабкому ступеню посушливості. Дуже сильні посухи у прогнозному періоді не очікуються, а сильні відзначатимуться лише у 12 % років. Подібна тенденція характерна і для Затишшя, де середній індекс посухи дорівнює 0,81. Незважаючи на збільшення частки років із сильними посухами до 32 %, дуже сильні посухи для цієї території також не прогнозуються.

Отримані результати свідчать, що до середини XXI століття найбільш уразливими до посилення посушливості залишатимуться південні та прибережні райони Одеської області. Зростання повторюваності сильної та дуже сильної посухи створюватиме несприятливі умови для вирощування пшениці озимої, зумовлюючи погіршення водного режиму посівів, обмеження продуційних процесів і підвищення ризику істотного недобору врожаю.

Агрометеорологічна оцінка весняно-літнього періоду вегетації пшениці озимої в умовах посухи на півдні Одеської області. Весняно-літній період є визначальним етапом органогенезу пшениці озимої, оскільки саме в цей час відбувається інтенсивне формування асиміляційного апарату, ріст стебла, колосіння, цвітіння, налив і достигання зерна. Ефективність проходження цих фаз значною мірою залежить від температурного режиму та вологозабезпечення, які в умовах кліматичних змін зазнають істотної трансформації. Посилення посушливості на півдні Одеської області супроводжується зміною строків проходження фенологічних фаз, що безпосередньо впливає на тривалість окремих етапів розвитку рослин і формування їх продуктивності.

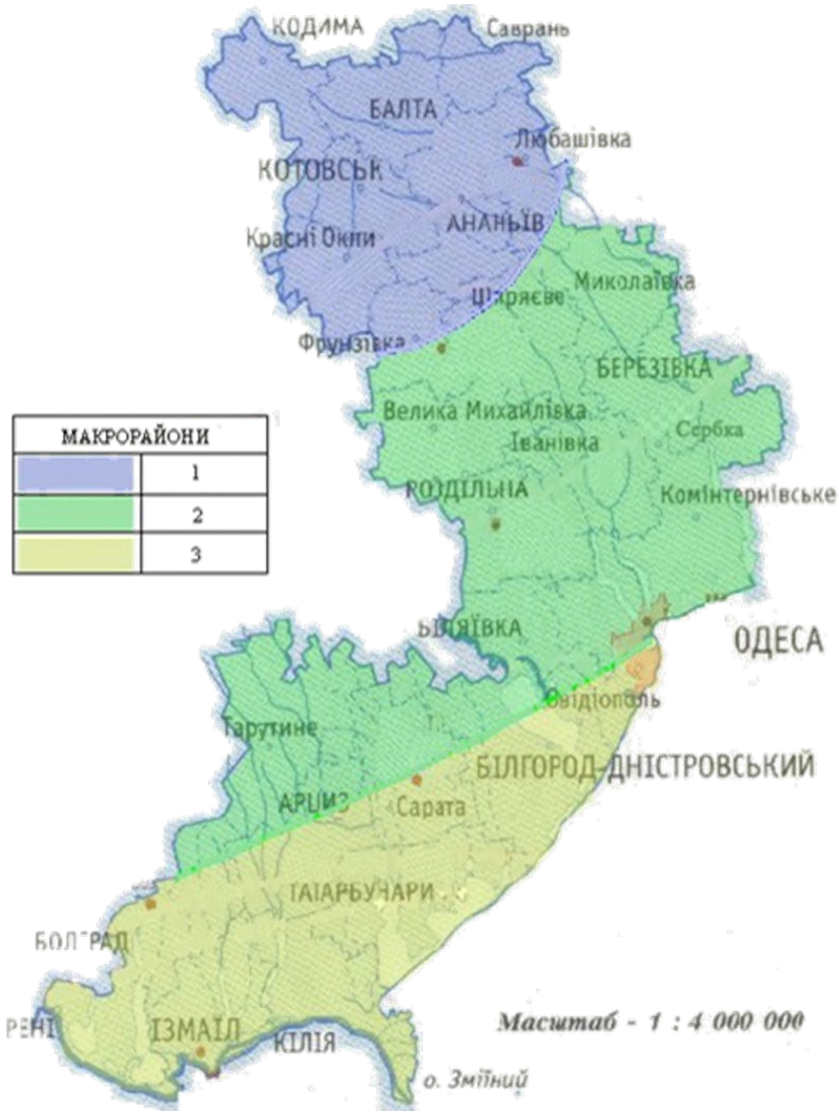


Рис. 1. Природно-кліматичні зони (підзони) Одеської області [29]
1 – зона Лісостепу; 2 – підзона Північного Степу; 3 – підзона Південного Степу

У напрямку до приморських і південних районів кліматичні умови істотно погіршуються. Для Одеси середнє значення індексу посухи знижується до 0,59, а сумарна повторюваність сильної та дуже сильної посухи становить 60 % прогнозного періоду. Аналогічна ситуація формується в Сараті, де сильні посухи прогнозуються у 44 % років, а дуже сильні – у 16 %. Найвищий рівень кліматичного ризику встановлено для Ізмаїла, де дуже сильні посухи повторюватимуться у 36 % років, а разом із сильними охоплюватимуть близько 60 % прогнозного періоду.

Таблиця 1

Сценарна оцінка розвитку посухи в Одеській області у 2026–2050 рр. (RCP 8.5)

Природно-кліматична зона	Район	Інтенсивність і ступінь посухи								
		Слабка 0,8–1,0		Середня 0,6–0,79		Сильна 0,41–0,59		Дуже сильна на <0,4		Середня за період 2026–2050 рр.
		Кількість років	% від 25 років	Кількість років	% від 25 років	Кількість років	% від 25 років	Кількість років	% від 25 років	
Лісостеп	Любашівка	3	12	10	40	3	12	0	0	0,92
Північний Степ	Затишшя	0	0	7	28	8	32	0	0	0,81
	Одеса	2	8	6	24	9	36	6	24	0,59
Південний Степ	Сарата	1	4	6	24	11	44	4	16	0,60
	Ізмаїл	4	16	4	16	6	24	9	36	0,59

Примітка: інформація є репрезентативною для районів Одеської області розташованих в межах природно-кліматичних зон.

За результатами сценарного моделювання встановлено, що впродовж 2026–2050 рр. у південній частині області сильні посухи прогнозуються в середньому у 6 роках із 25, тоді як дуже сильні – у 9 роках. Для детального аналізу реакції культури було обрано характерні роки, що відповідають різним рівням посушливості: 2048 р. (ГТК = 0,51), 2036 р. (ГТК = 0,39) та 2027 р. (ГТК = 0,25). Такий підхід дав змогу оцінити особливості проходження фенологічних фаз за різного ступеня дефіциту вологи (табл. 2).

Таблиця 2

Особливості фенологічного розвитку пшениці озимої у весняно-літній період вегетації на півдні Одеської області в період 2026–2050 рр.

Рік	Дата відновлення вегетації	Дата кінця колосіння (початку цвітіння)	Дата воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Середні багаторічні				
	01.03	19.05	20.06	112
Сильна посуха, ГТК – 0,51				
2048	05.03	18.05	20.06	107
Різниця	+4	-1	0	-5
Дуже сильна посуха, ГТК – 0,39				
2036	11.03	29.05	26.06	108
Різниця	+10	+10	+6	-4
Дуже сильна посуха, ГТК – 0,25				
2027	02.02	07.05	04.06	122
Різниця	-27	-12	-16	+10

Примітка: сценарій змін клімату RCP-8.5

Порівняльний аналіз показав, що зі зміною агрокліматичних умов характер проходження фенологічних фаз істотно змінюється, однак реакція культури не є лінійною. За сильної посухи (ГТК = 0,51) строки розвитку залишаються близькими до

середніх багаторічних значень: відновлення весняної вегетації затримується лише на 4 доби, тоді як колосіння розпочинається на одну добу раніше, а загальна тривалість вегетаційного періоду скорочується до 107 діб. Це свідчить, що за помірного дефіциту вологи рослини ще зберігають здатність компенсувати негативний вплив погодних умов.

За дуже сильної посухи (ГТК = 0,39) спостерігається інший тип реакції. Пізніше відновлення весняної вегетації та зміщення наступних фенологічних фаз на 6–10 діб зумовлені особливостями погодних умов початку весняного періоду. Водночас підвищений температурний режим у наступні міжфазні періоди прискорює розвиток рослин, унаслідок чого загальна тривалість вегетації скорочується до 108 діб.

Найбільш своєрідний характер розвитку встановлено за екстремальної посухи (ГТК = 0,25). У цьому випадку раннє відновлення весняної вегетації (на 27 діб раніше середньої багаторічної дати) обумовлене аномально теплими умовами зимово-весняного періоду. Це спричиняє більш ранній початок колосіння та воскової стиглості, однак загальна тривалість вегетаційного періоду збільшується до 122 діб. Така особливість свідчить, що екстремально низькі значення гідротермічного коефіцієнта не завжди супроводжуються прискоренням розвитку культури, оскільки характер проходження фенологічних фаз визначається комплексною взаємодією температурного режиму, забезпеченості вологою та строків відновлення весняної вегетації.

Отримані результати свідчать, що зміни фенологічного розвитку пшениці озимої в умовах сучасних кліматичних змін є одним із механізмів адаптації рослин до трансформації агрометеорологічних умов. Водночас зміщення строків проходження критичних фаз розвитку істотно впливає на умови формування листкової поверхні, накопичення біомаси та наливу зерна, що в подальшому визначає рівень продуктивності посівів.

Агрометеорологічні умови весняно-літньої вегетації пшениці озимої за різної інтенсивності посухи. Агрометеорологічні умови весняно-літнього періоду визначають інтенсивність ростових процесів, накопичення сухої речовини та формування генеративних органів пшениці озимої. Результати моделювання свідчать, що зі зростанням інтенсивності посухи відбувається комплексна трансформація основних метеорологічних чинників, яка проявляється підвищенням температури повітря, скороченням кількості атмосферних опадів, зміною випаровування та погіршенням вологозабезпечення посівів (табл. 3).

За середніх багаторічних умов весняно-літній період характеризується середньою температурою повітря 12,3°С, сумою опадів 160 мм, сумарним випаровуванням 227 мм, випаровуваністю 561 мм і показником вологозабезпеченості 0,40 від. од. Уже за цих умов гідротермічний коефіцієнт становить 0,59, що свідчить про недостатній рівень природного зволоження території та високу залежність продуктивності культури від атмосферного водного режиму.

За сильної посухи (ГТК = 0,51) підвищення середньої температури повітря до 13,2°С супроводжується скороченням суми опадів до 103 мм, або 64 % від середньої багаторічної норми. Одночасно показник вологозабезпеченості зменшується до 0,35, що свідчить про формування стійкого дефіциту продуктивної вологи. Незважаючи на деяке зниження сумарного випаровування, волога стає основним лімітуючим фактором росту та розвитку рослин.

Найбільш несприятливі агрометеорологічні умови формуються за дуже сильної посухи (ГТК = 0,39). Саме для цього варіанта характерне максимальне підвищення температури повітря (+1,4°С до багаторічного рівня) та найменша кількість атмосферних опадів – лише 72 мм, або 45 % від норми. За таких умов показник

вологозабезпеченості знижується до 0,31 відн. од., що є найнижчим серед досліджуваних варіантів. Поєднання високого температурного фону з гострим дефіцитом атмосферного зволоження створює критичні умови для проходження основних етапів органогенезу пшениці озимої.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика умов вирощування пшениці озимої за сценарієм кліматичних змін RCP 8.5 у роки з різною інтенсивністю посухи в період весняно-літньої вегетації на півдні Одеської області (2026–2050 рр.)

Гідро-термічний коефіцієнт (ГТК)	Агрокліматичні /агрометеорологічні показники				
	Середня температура повітря, °С	Сума опадів, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Вологозабезпеченість , від. од
	Середні багаторічні				
ГТК - 0,59	12,3	160	227	561	0,40
	Сильна посуха, 2048 рік				
ГТК-0,51	13,2	103	191	540	0,35
Різниця	+0,9	64%	84%	96%	88%
	Дуже сильна посуха, 2036 рік				
ГТК-0,39	13,7	72	170	544	0,31
Різниця	+1,4	45%	75%	97%	78%
	Дуже сильна посуха, 2027 рік				
ГТК-0,25	12,5	98	193	571	0,34
Різниця	+0,2	61%	85%	102%	85%

За екстремальної посухи (ГТК = 0,25) температурний режим майже не відрізняється від середнього багаторічного (+0,2°С), однак різке зростання випаровуваності до 571 мм істотно посилює втрати вологи. Незважаючи на дещо більшу кількість опадів порівняно з 2036 роком, інтенсивне випаровування не забезпечує поліпшення водного режиму посівів. Це підтверджує, що рівень посушливості визначається не лише кількістю атмосферних опадів, а співвідношенням між надходженням і витратами вологи, яке інтегрально характеризується гідротермічним коефіцієнтом.

Таким чином, результати дослідження свідчать, що зі зростанням інтенсивності посухи відбувається послідовне погіршення агрометеорологічних умов вирощування пшениці озимої. Встановлені зміни температурного режиму, атмосферного зволоження та вологозабезпечення формують передумови для зменшення площі листкової поверхні, уповільнення накопичення сухої біомаси й зниження ефективності формування генеративних органів, що безпосередньо відображається на рівні врожайності культури.

Оцінка формування врожаю та продуктивності пшениці озимої за різних агрометеорологічних умов на півдні Одеської області. Результати моделювання продуційного процесу пшениці озимої за сценарієм кліматичних змін RCP 8.5 свідчать, що посилення посушливості істотно впливає на всі етапи формування врожаю – від розвитку асиміляційного апарату до накопичення сухої речовини й утворення генеративної біомаси (табл. 4).

Встановлено чітку закономірність: зі зменшенням гідротермічного коефіцієнта послідовно погіршуються всі показники продуктивності посівів, що є наслідком

комплексного впливу дефіциту вологи та підвищеного температурного режиму на фізіологічні процеси рослин.

Таблиця 4

Продуктивність посівів і врожайність пшениці озимої за різної інтенсивності посухи на півдні Одеської області (RCP 8.5, 2026–2050 рр.)

Показники продуктивності	Середній багато-річний ГТК-0,59	Сильна посуха 2048 рік		Дуже сильна посуха			
				2036 рік		2027 рік	
		ГТК 0,51	Різниця, %	ГТК 0,39	Різниця, %	ГТК 0,25	Різниця, %
Максимальний індекс листової поверхні, м²/м²	2,60	1,88	72	1,64	63	1,54	59
Загальна суха біомаса, г/м²	546,0	346,99	64	207,85	38	285,63	52
Біомаса колосу, г/м²	292,65	160,71	55	78,34	27	98,45	34
Урожай зерна, т/га	2,5	1,4	56	0,7	28	0,8	32

За середніх багаторічних агрометеорологічних умов (ГТК = 0,59) формуються найсприятливіші передумови для реалізації продуктивного потенціалу культури. Максимальний індекс листкової поверхні досягає 2,60 м²/м² (рис. 2), накопичення загальної сухої біомаси – 546,0 г/м² (рис. 3), біомаси колоса – 292,65 г/м², що забезпечує формування врожайності зерна на рівні 2,5 т/га. Такі показники характеризують відносно збалансовані умови тепло- та вологозабезпечення, за яких фотосинтетичний апарат функціонує найбільш ефективно.

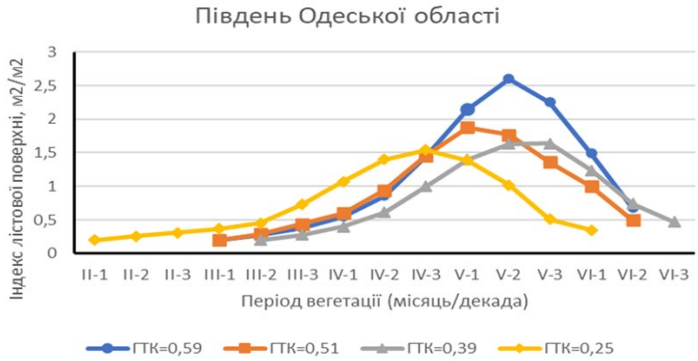


Рис. 2. Динаміка площі листкової поверхні пшениці озимої за різних сценаріїв посухи на півдні Одеської області

За сильної посухи (ГТК = 0,51) продуційний процес починає суттєво погіршуватися. Максимальна площа листкової поверхні зменшується до 1,88 м²/м², або на 28 % порівняно із середнім багаторічним рівнем. Одночасно загальна суха біомаса скорочується до 346,99 г/м² (64 % від контрольного варіанта), а біомаса колоса – до 160,71 г/м² (55 %). Унаслідок цього врожайність зерна знижується до 1,4 т/га,

що становить лише 56 % середньої багаторічної величини. Це свідчить, що навіть помірне посилення дефіциту вологи насамперед обмежує розвиток листкового апарату, а надалі – інтенсивність фотосинтезу й накопичення органічної речовини.

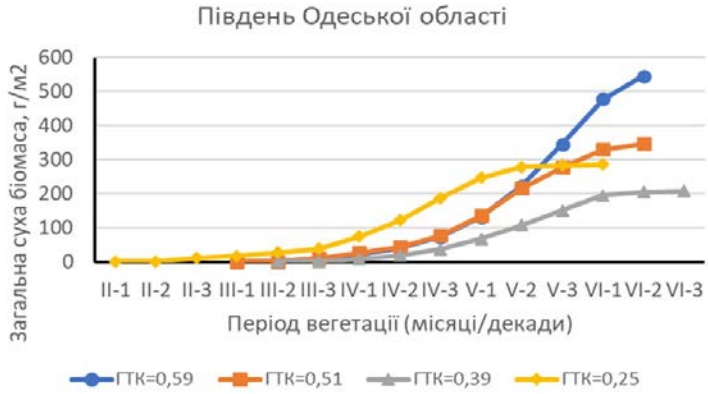


Рис. 3. Динаміка загальної біомаси пшениці озимої за різних сценаріїв посухи на півдні Одеської області

Найбільш істотні зміни продуційного процесу встановлено за дуже сильної посухи (ГТК = 0,39). За цих умов максимальний індекс листкової поверхні зменшується до 1,64 м²/м², загальна суха біомаса – до 207,85 г/м², а біомаса колоса – до 78,34 г/м², що відповідає лише 27 % середнього багаторічного рівня. Урожайність зерна скорочується до 0,7 т/га, або 28 % від контрольного варіанта. Такий рівень продуктивності свідчить про різке пригнічення фотосинтетичної діяльності посівів та істотне порушення процесів формування генеративних органів.

За екстремальної посухи (ГТК = 0,25) загальний характер змін зберігається. Максимальна площа листкової поверхні становить 1,54 м²/м², загальна суха біомаса – 285,63 г/м², біомаса колоса – 98,45 г/м², а врожайність зерна – 0,8 т/га. Незважаючи на дещо вищі показники накопичення біомаси порівняно з варіантом ГТК = 0,39, урожайність залишається лише на рівні 32 % від середньої багаторічної. Це свідчить, що окремі елементи продуційного процесу можуть частково компенсувати вплив несприятливих погодних умов, однак загальний дефіцит продуктивної вологи істотно обмежує реалізацію потенціалу культури.

Таким чином, результати моделювання підтверджують, що головним наслідком посилення посухи є послідовне порушення всіх етапів формування продуктивності пшениці озимої. Первинною реакцією рослин є зменшення площі листкової поверхні, що призводить до зниження інтенсивності фотосинтетичних процесів, скорочення накопичення сухої біомаси, погіршення формування колоса та, як кінцевий результат, істотного зменшення врожайності зерна. Отже, продуційний процес пшениці озимої є високочутливим до зростання інтенсивності посухи, що підтверджує необхідність розроблення адаптаційних заходів для стабілізації виробництва зерна в умовах прогнозованих кліматичних змін.

Отримані результати узгоджуються з висновками Asseng et al. (2015), Zhao et al. (2017) та Rezaei et al. (2023), які також встановили, що поєднання дефіциту вологи та підвищених температур насамперед обмежує розвиток листкового апарату, фотосинтетичну активність і накопичення біомаси, що призводить до різкого

зниження врожайності зернових культур. Разом із тим виконане дослідження деталізує ці закономірності для природно-кліматичних умов півдня Одеської області, дозволяючи кількісно оцінити вплив різних рівнів інтенсивності посухи на окремі етапи формування продуктивності пшениці озимої.

Узагальнення отриманих результатів дає підстави стверджувати, що реакція пшениці озимої на посилення посушливості має комплексний характер і охоплює всі етапи формування продуктивності. Встановлено, що погіршення агрометеорологічних умов не обмежується лише зменшенням кількості атмосферних опадів, а супроводжується зміною температурного режиму, підвищенням випаровуваності та посиленням дефіциту продуктивної вологи. Сукупна дія цих чинників зумовлює зміну строків проходження фенологічних фаз, скорочення тривалості активного функціонування листкового апарату та зниження ефективності фотосинтетичних процесів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Результати моделювання свідчать, що у 2026–2050 рр. за кліматичного сценарію RCP 8.5 на території Одеської області очікується подальше посилення аридизації клімату, яке супроводжуватиметься збільшенням повторюваності сильної та дуже сильної посухи та посиленням просторової диференціації кліматичного ризику. Найбільш несприятливі умови прогнозуються для південних і прибережних районів області, де сильні й дуже сильні посухи прогнозуються майже у 60 % років. Зі зростанням інтенсивності посухи істотно змінюються агрометеорологічні умови весняно-літньої вегетації пшениці озимої. Підвищення температури повітря, скорочення кількості атмосферних опадів та погіршення вологозабезпечення спричинятимуть зміну строків проходження фенологічних фаз і трансформацію тривалості вегетаційного періоду. Первинною реакцією пшениці озимої на дефіцит вологи є зменшення площі листкової поверхні, що обмежує інтенсивність фотосинтетичних процесів, накопичення сухої біомаси та формування генеративних органів. За сильної посухи (ГТК = 0,51) урожайність зерна зменшуватиметься до 1,4 т/га (56 % від середнього багаторічного рівня), тоді як за дуже сильної посухи (ГТК = 0,39–0,25) – до 0,7–0,8 т/га, що становитиме лише 28–32 % від контрольного варіанта.

Отримані результати підтверджують високу чутливість продуційного процесу пшениці озимої до посилення посушливості клімату та свідчать про необхідність впровадження адаптивних агротехнологій, спрямованих на підвищення ефективності використання ґрунтової вологи й забезпечення стабільного виробництва зерна в умовах прогнозованих кліматичних змін.

Перспективи подальших досліджень полягають у моделюванні ефективності адаптаційних заходів вирощування пшениці озимої в умовах прогнозованих кліматичних змін, зокрема оптимізації строків сівби, добору сортів різних груп стиглості, удосконалення режимів водозабезпечення та оцінювання ефективності сучасних кліматично орієнтованих агротехнологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Пшениця озима: ресурсний потенціал та технологія вирощування: монографія / В. В. Гамаюнова, М. М. Корхова, А. В. Панфілова та ін. Миколаїв: МНАУ, 2021. 300 с.

2. Рожков А. О. Пшениця озима: онтогенез, сучасні підходи технології вирощування : монографія. Харків : Державний біотехнологічний університет, 2024. 131 с.

3. Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. Climate Change 2023: Synthesis Report. IPCC. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

4. Балабаш В. С. Врожайність ріпаку озимого залежно від застосування біопрепаратів на півдні України. *Таврійський науковий вісник*. 2026. Вип. 148, Ч. 1. С. 78-86. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.9

5. OECD, FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Paris: OECD Publishing; Rome: FAO, 2023. 248 p.
6. Ortiz-Bobea A., Ault T. R., Carrillo C. M., Chambers R. G., Lobell D. B. *Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth.* Nature Climate Change. 2021. Vol. 11. P. 306-312. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1
7. Asseng S., Ewert F., Martre P. et al. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*. 2015. Vol. 5. P. 143-147. https://doi.org/10.1038/nclimate2470
8. Zhao C., Liu B., Piao S. et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2017. Vol. 114(35). P. 9326-9331. https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114
9. Current warming will reduce yields unless major adaptation measures are implemented / A. J. Challinor, A. K. Koehler, J. Ramirez-Villegas, S. Whitfield, B. Das. *Nature Climate Change*. 2016. Vol. 6, no. 10. P. 954-958. https://doi.org/10.1038./nclimate3061
10. Lobell D. B., Schlenker W., Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 2011. Vol. 333. P. 616-620. https://doi.org/10.1126/science.1204531
11. Rezaei E. E., Webber H., Asseng S. et al. Climate change impacts on crop yields. Nature Reviews Earth & Environment. 2023. Vol. 4. P. 831-846. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0
12. Польовий А. М., Барсукова О. А. Оцінка агрокліматичних умов росту озимої пшениці та емісія CO_2 із ґрунтів агроекосистеми при зміні клімату в Україні. Ротмістровські читання: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 28 берез. 2025 р.). Одеса, 2025. С. 56-58.
13. 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 гідрометеорологічний журнал.* 2022. № 29, С. 20-31. https://doi.org/10.31481/uhmj.29.2022.02
14. Тараріко О. Г., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Вплив змін клімату на продуктивність та валові збори зернових культур: аналіз та прогноз. *Український географічний журнал*. 2016. Вип. 1. С. 14-22. https://doi.org/10.15407/ugz2016.01.014
15. Жигайло Т. С., Жигайло О. Л., Домбовська І. О. Оптимізація вирощування пшениці озимої в посушливих умовах Південного Степу України. Відновлення природно-ресурсного потенціалу та стійкості екосистем: колективна монографія; за заг. ред. Т.О. Чайки. Полтава: Видавництво ПП «Астрая», 2023. С. 234-242.
16. Перспективи розвитку аграрного сектора України в умовах кліматичних змін : аналіт. доп. / [В. М. Русан, Л. А. Жураковська, Я. А. Жаліло, Р. А. Вожегова та ін.]; за наук. ред. Я. А. Жаліла. Київ: НІСД, 2024. 47 с. https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.09
17. Влащук А. М., Дробіт О. С., Місєвич О. В., Конащук О. П., Кляуз М. А. Продуктивність нуту залежно від елементів технології в умовах півдня України. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 5-9. http://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/137/113
18. Польовий А. М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроекосистем: навч. посіб. Київ: КНТ, 2022. 346 с.
19. Адаменко Т. І., Кульбіда М. І., Прокопенко А. Л. Агрокліматичний довідник по території України: (1986-2015 рр.) /за ред. Т. І. Адаменко. Житомир: «Полісся». 2019. 82 с.
20. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: ТЕС, 2018. 546 с.
21. Zhygailo T., Zhyhailo D., Zhygailo O., Kyryllov Yu. 2025. Agroclimatic assessment of the prospects for growing winter peas in the Odesa region. Scientific papers. Series A. Agronomy 2025. Vol. LXVIII. No. 2. P. 871-880 https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2025/issue_2/Art105.pdf

Дата першого надходження статті до видання: 17.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026