

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет магістерської та  
аспірантської підготовки  
Кафедра агрометеорології та  
агроекології

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему: **Агрометеорологічні умови вирощування озимої пшениці  
в Західному Ліссестепу в умовах зміни клімату**

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-2а  
Спеціальності 103 «Науки про Землю»,  
(шифр і назва)

Освітня програма «Агрометеорологія»  
(назва)

Панасюк Анастасія Анатоліївна  
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н.,  
Костюкевич Тетяна Костянтинівна  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Рецензент к.геогр.н., доцент  
Ільїна Валентина Григорівна  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Одеса 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки  
Кафедра агрометеорологія та агроекології  
Рівень вищої освіти магістр  
Спеціальність 103 «Науки про Землю»  
(шифр і назва)  
Освітня програма Агрометеорологія  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
агрометеорології та агроекології  
Польовий А.М.  
« 29 » жовтня 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Панасюк Анастасії Анатоліївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Агрометеорологічні умови вирощування озимої пшениці в Західному Лісостепу в умовах зміни клімату

керівник роботи Костюкевич Тетяна Костянтинівна, к.геогр.н.,  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 5 » жовтня 2018 року № 271 «С»

2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи: 1.Агрокліматичні дані по Вінницькій області за 1991-2010 рр.; 2. Кліматичний сценарії RCP4.5; 3.Програма динамічної моделі формування урожайності сільськогосподарських культур; 4.Дані державної статистичної служби України

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Вивчити фізико-географічні умови Вінницької області; 2. Описати агрокліматичні умови вегетації с.-х. культур; 3. Описати біологічні особливості озимої пшениці та її основні сорти; 4.Описати динамічну модель формування урожайності; 6. Оцінити зміну агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці у зв'язку зі змінами клімату; 7. Оцінити зміну фотосинтетичної продуктивності озимої пшениці в умовах зміни клімату.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Графік динаміки врожайності озимої пшениці;  
2. Графіки порівняння середньої температури повітря та опадів, динаміки площі листя, чистої продуктивності фотосинтезу, інтенсивності фотосинтезу, приростів рослинної маси, загальної біомаси.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		вдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 2018 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання.	29.10.2018 р.		
2	Огляд літературних джерел. Формування банку даних. Оформлення першого розділу магістерської роботи.	30.10.2018 р. - 5.11.2018 р.	90	5(відмінно)
3	Проведення чисельних розрахунків на ПОЕМ. Оформлення текстової частини другого та третього розділів магістерської роботи.	6.11.2018 р. – 18.11.2018 р.	90	5(відмінно)
	Рубіжна атестація	19.11.2018 р. - 24.11.2018 р.	90	5(відмінно)
4	Побудова табличного та графічного матеріалу. Аналіз отриманих розрахунків.	25.11.2018 р. - 29.11.2018 р.	90	5(відмінно)
5	Оформлення текстової частини четвертого розділу магістерської роботи.	30.11.2018 р.- 6.12.2018 р.	91	5(відмінно)
6	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи.	7.12.2018 р. - 10.12.2018 р.	93	5(відмінно)
7	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	14.12.2018 р.	91	5(відмінно)
8	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту	-	-	-
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>	-	<b>91,0</b>	

Студентка \_\_\_\_\_ Панасюк А.А.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Костюкевич Т.К.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Панасюк А.А. Агromетeоролoгiчнi умoви вирощування озимoi пшеницi в Захiднoму Лiсoстeпу в умoвах змiни клiмату.**

*Актуальнiсть* обранoї теми зумoвлeна тим, щo для отримання сталих i висoких урожаїв будь-якoї сiльськoгoспoдарськoї культури, зoкрема, озимoi пшеницi, нeобхiдне детальнe вивчeння агromетeоролoгiчних умoв її вирощування на дoслiджуванiй тeриторiї з мeтoю рaцioнальнoгo використання цих умoв i найбiльш оптимальнoгo рoзмiщення посiвiв.

Особливoгo значeння набувaє вирiшення цьoгo питання у зв'язку зi змiнами клiмату на планeтi, щo надають Укрaїнi мoжливiсть стати oдним iз найбiльших виробникiв сiльськoгoспoдарськoї продукцiї.

*Мeтoю* данoгo дoслiдження є oцiнка впливу змiн клiмату на агromетeоролoгiчнi умoви формування продуктивнoстi озимoi пшеницi в Захiднoму Лiсoстeпу Укрaїни на прикладi Вiнницькoї oбластi.

Для дoсягнення поставлeнoї мeти нeобхiдно було вирiшити наступнi завдання:

- рoзрахувати oснoвнi агromетeоролoгiчнi пoказники вегетaцiйнoгo перioду озимoi пшеницi за базoвими умoвами та з врахуванням змiн клiмату за перioд 2021-2050 рр.;
- визначити вплив мoжливих змiн клiмату на фoтoсинтетичну продуктивнiсть та врожайнiсть озимoi пшеницi за умoв рeалiзацiї сценарiю змiни клiмату RCP4.5.

*Об'єкт дoслiдження* - агromетeоролoгiчнi умoви формування врожайнoстi озимoi пшеницi в умoвах змiни клiмату.

*Предмет дoслiдження* - oцiнка впливу агromетeоролoгiчних умoв на врожайнiсть озимoi пшеницi у Вiнницькiй oбластi.

*Мeтoди дoслiдження* - мeтoди математичнoгo моделювання продукцiйнoгo процесу рoслин, статистичнi та ймoвiрнiснi мeтoди.

*Вперше* встановленi заcoнoмiрнoстi впливу змiн клiмату на агromетeоролoгiчнi умoви вирощування озимoi пшеницi та її продуктивнiсть в Вiнницькiй oбластi.

Отриманi рeзультати мoжуть бути використанi при викoнаннi комплекснoї oцiнки агроклiматичних рeсурсiв стoсoвнo вирощування озимoi пшеницi та oптiмiзацiї рoзмiщення її посiвних площ за умoв рeалiзацiї сценарiю RCP4.5 змiни клiмату в Захiднoму Лiсoстeпу.

Рoбoта склaдаєтьсa iз вступу, 4 рoздiлiв, виснoвкiв та перелiку пoсилань. Пoвний oбсяг рoботи становить 72 сторiнки, 8 рисункiв, 3 таблицi. Спiсок використаних лiтературних джерел мiстить 41 найменування.

**Ключoвi слoвa:** озима пшениця, мoдeль продуктивнoстi, змiна клiмату, агromетeоролoгiчнi умoви, врожай зeрна.

## SUMMARY

### **Panasiuk A. A. Agrometeorological conditions growing winter wheat in Western Lisostep in a changing climate.**

*The relevance* of the chosen topic due to the fact that to obtain stable and high yields of any winter wheat, it is necessary for a detailed study of agrometeorological conditions of its cultivation in the study area with the aim of rational use of these conditions and the optimal placement of winter wheat.

Particular importance is the decision of this question in connection with climate changes on the planet that give Ukraine the opportunity to become one of the largest producers of agricultural products.

*The aim of this study* is to assess the impact of climate change on conditions of formation of winter wheat productivity in the Western Lisostep zone of Ukraine on the example of Vinnitsa region.

To achieve this goal it was necessary to solve following *tasks*:

- to calculate the basic agrometeorological indicators of vegetation period winter wheat in Western Lisostep on the basic conditions and taking into account climate change during the period of 2021-2050-pp;

- to determine the influence of possible climate change on photosynthetic productivity and winter wheat yield under the conditions of realization of climate change scenario RCP 4.5.

*The object of study* - agrometeorological conditions of formation of winter wheat yield in climate change conditions.

*The subject of the study* was to assess the influence of agrometeorological conditions on yield of winter wheat in Vinnitsa region.

*Research methods* - methods of mathematical modeling producing process plants, statistical and probabilistic methods.

*For the first time*: the regularities of the effect of climate change on agrometeorological conditions for winter wheat cultivation and its productivity in Vinnitsa region.

The results can be used when performing a comprehensive assessment of agrometeorological resources in relation to winter wheat cultivation and optimize the placement of the acreage in the conditions of realization of the RCP 4.5 climate change in Western Lisostep.

The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, list of references. Full work is 72 pages, 8 graphics, 3 tables. The list of used literary sources contains 41 items.

**Key words:** winter wheat, productivity model, climate change, agrometeorological conditions, crop grain.

ЗМІСТ		
ВСТУП .....		6
I	ЗАГАЛЬНА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ	8
	1.1 Фізико-географічна характеристика території Вінниччини .....	8
	1.2 Кліматичні та агрокліматичні умови Вінниччини .....	9
II	БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ .....	13
	2.1 Фізіологія розвитку, органогенез та формування елементів продуктивності озимої пшениці .....	13
	2.2 Вимоги озимої пшениці до умов навколишнього середовища ....	17
	2.3 Продукційний процес озимої пшениці при підвищенні концентрації CO <sub>2</sub> в атмосфері .....	23
	2.4 Характеристика розповсюджених в Україні сортів ... ..	28
III	СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР .....	31
	3.1 Сучасний стан моделювання продукційного процесу посівів сільськогосподарських культур в умовах зміни клімату .....	31
	3.2 Моделювання формування продуктивності зернових культур ...	33
	3.3 Базова динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур .....	36
IV	АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В ЗАХІДНОМУ ЛІСОСПЕТУ ЗА УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ .....	46
	4.1 Сучасний стан та перспективи вирощування озимої пшениці ....	46
	4.2 Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в умовах зміни клімату .....	49
	4.3 Оцінка продуктивності озимої пшениці в умовах зміни клімату	56
ВИСНОВКИ .....		65
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....		68

## ВСТУП

Вчені давно визначили, що середня температура повітря біля поверхні землі підвищується всюди в світі. В результаті в атмосфері відбувається перебудова глобальних процесів перенесення тепла і вологи на всіх континентах, яка супроводжується різким почастишанням природних катаклізмів: посух і повеней, тайфунів і смерчів, граду, обвалів тощо. Підвищення температури і посухи обмежать продуктивність сільського господарства. Такий аспект, пов'язаний з потеплінням, може призвести до збільшення в два рази чисельності основних комах-шкідників, для яких потепління клімату є благодатним для розмноження. Зона екологічного оптимуму різних видів шкідників поширюється на території, де раніше температурні умови для них були несприятливими. Якщо кліматичні зони змістяться, шкідники почнуть заселяти нові території, де рослини не пристосовані і значно вразливіші для такої загрози.

У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря в Північній півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур [6].

Сучасне потепління викликає значну зміну агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур. Воно супроводжується істотним підвищенням температури повітря у зимові місяці, збільшенням кількості тривалих відлиг, часового зрушення розвитку природних процесів, змінами тривалості сезонів року, подовженням беззаморозкового періоду та тривалості вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, збільшенням теплозабезпеченості вегетаційного періоду[3].

Якою б не представлялася картина цього майбутнього розвитку, розуміння цієї ситуації призводить до необхідності вирішення проблеми

спостережень, досліджень, аналізу і прогнозу зміни кліматично обумовлених природних ресурсів у зв'язку із змінами клімату.

Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. При цьому використовуються кліматичні моделі різних рівнів складності, від простих кліматичних до моделей перехідної складності, повних кліматичних моделей і моделей усєї Земної кліматичної системи. Для нових кліматичних розрахунків, виконаних у рамках проекту Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme), використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP) [32].

В даній роботі ми будемо надавати оцінку впливу продуктивності озимої пшениці в умовах зміни клімату в Західному лісостепу з використанням сценарію викидів RCP4.5, якій являє собою сценарії середнього рівня викидів

Для дослідження впливу кліматичних змін на темпи розвитку та формування продуктивності озимої пшениці в Західному Лісостепу на прикладі Вінницької області на фоні зміни кліматичних умов нами розглядались такі варіанти – базовий (1986–2010 рр), кліматичні умови періоду за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (2021-2050 рр.) та кліматичні умови періоду + збільшення CO<sub>2</sub> в атмосфері.



# I ЗАГАЛЬНА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Фізико-географічна характеристика території Вінниччини

Вінницька область розташована в лісостеповій смузі правобережної частини України. На півночі регіон межує з Житомирською, на сході - з Київською, Черкаською та Кіровоградською областями України, на заході - з Хмельницькою і Чернівецькою областями, на півдні - Одеською областю, Молдовою і Придністров'ям.

Велика частина території області розташована в межах Подільської (до 362 м) і Придніпровської (до 323 м) височин. Поверхня Вінницької області - хвиляста рівнина, що підвищується на північний захід і знижується на південь і південний схід. Особливо сильно розчленована її південно-західна частина вузькими долинами меридіональних лівих приток Дністра [1].

Під лісами (дуб, граб, ясен, липа, клен, сосна) і чагарниками зайнято 12,6% території, безлісні простори розорані. Тваринний світ: косуля, вовк, лисиця, лісова куниця, білка, заєць, польові гризуни; по берегах річок та інших водойм - норка, видра, дикі качки, гуси.

Аграрним виробництвом в області займається більше 700 колективних сільськогосподарських і міжгосподарських підприємств, понад 100 радгоспів, 846 сільських (фермерських) і 333 підсобних і заготівельних господарств, 4 дослідних станції, науково-дослідний інститут кормів.

Характерною рисою промислового комплексу Вінницької області є індустріально-аграрна спрямованість. Всі провідні галузі (за винятком електроенергії) безпосередньо пов'язані з сільськогосподарським циклом, починаючи з виробництва машин та добрив і закінчуючи переробкою сільськогосподарської сировини [1].

В області поширені різні типи чорноземних ґрунтів. Крім цих ґрунтів, значні площі лучно-чорноземні та сірі лісові ґрунти. Ґрунти головним чином чорноземні, в центральній частині - сірі і світло-сірі, на південно-сході і в придністровських районах - чергування потужних чорноземів з опідзоленими ґрунтами. Тут склалися найкращі умови для вирощування зернових культур, особливо озимої пшениці, цукрових буряків, кукурудзи.

В області густа мережа річок, які належать до басейнів Південного Бугу, Дністра та Дніпра. Через всю її територію, з північного заходу на південь та південний схід, протяжністю 320 км протікає Південний Буг. В його руслі часто трапляються бар'єри, перекати, загати, створені брилами граніту. На Вінниччині Південний Буг приймає понад 30 приток, найбільші з них — Згар, Рів та Соб.

На межі з Чернівецькою областю та Молдовою протікає Дністер. Його притоки на території Вінницької області — Жван, Лядова, Серебря, Немія, Мурафа та ін. Якщо Південний Буг тече повільно, то Дністер, навпаки, має досить швидку течію. В багатьох місцях береги Дністра підносяться крутими обривистими скелями. Подекуди їх висота сягає 100—150 м над рівнем ріки [9].

## 1.2 Кліматичні та агрокліматичні умови Вінниччини

Як і на більшій частині території Правобережного Лісостепу України, клімат Вінниччини помірно континентальний. Для нього характерні тривале, нежарке літо з достатньою кількістю вологи і порівняно коротка, м'яка зима.

За своїм географічним положенням територія області знаходиться в сфері впливу насичених вологою повітряних мас, які йдуть з Атлантичного океану, і периферичної частини сибірського (азіатського) антициклону, для якого типовими є сухі, холодні континентальні повітряні маси. На клімат

області мають вплив також повітряні маси з Арктики і Середземномор'я. Вінниччина, як і вся Україна, розташована в помірному поясі [1].

Обласний центр - Вінниця - знаходиться під  $49^\circ$  північної широти, тобто віддалений від екватора на  $49^\circ$ , а від Північного полюса - на  $41^\circ$ .

У літню пору на території області, як і всього Поділля, переважають вологі вітри західного і північно-західного румбів. Вони найбільше впливають на кліматичні умови районів, розташованих на північний захід від лінії Могилів-Подільський - Гайсин. У холодну пору року (з жовтня по квітень) на території області, яка пролягає на південний схід від цієї лінії, відчутний вплив сибірського антициклону з вітрами південних і південно-східних румбів.

Найхолоднішим місяцем по всій області є січень, найтеплішим - липень. Середні амплітуди коливань температури протягом року не перевищують  $25^\circ\text{C}$ . Під впливом континентальних повітряних мас іноді буває, що взимку температура повітря в окремі дні знижується до  $-32^\circ\text{C}$  ...-  $38^\circ\text{C}$ . Влітку температура підвищується до  $+37^\circ\text{C}$ . Максимум опадів припадає на травень - липень (130-170 мм). Найменш вологими є зимові місяці. У грудні - лютому випадає від 65 до 80мм [9].

Середньорічні суми опадів на території області становлять 440 - 590 мм. На холодний період року припадає 20-25% річної суми опадів.

Найбільше опадів буває на північному заході області. З просуванням на південний схід річна сума опадів поступово зменшується. Уже в Тульчинському і Гайсинському районах їх випадає приблизно 450 мм, а на крайньому півдні області - менше 450 мм, тобто  $2/3$  суми опадів, які бувають на північному заході.

Вночі та вранці бувають тумани. Найбільш часто вони з'являються в зниженнях рельєфу - в балках, низовинах, долинах річок. Тумани у весняні та осінні місяці внаслідок конденсації дають іноді за добу до 0,5-1мм опадів.

Влітку досить часті сильні роси. Як і тумани, найбільші роси випадають в долинах річок. Перехід від однієї пори року до іншого відбувається поступово.

Стійкий перехід середньої добової температури через  $0^{\circ}$  є початком весни на території області. Це найчастіше буває в другій декаді березня. Весна триває близько двох місяців. Характерними особливостями весни в області є: інтенсивне підвищення вдень температури, завдяки чому сходить стійкий сніговий покрив, відтає ґрунт, посилюється випаровування. У квітні середня температура повітря до 13-ї години досягає  $+10 \dots +13^{\circ}\text{C}$ . Перехід середньої добової температури повітря через  $+5^{\circ}\text{C}$  відбувається в першій декаді квітня, а через  $+10^{\circ}\text{C}$  - в кінці третьої декади [23].

Встановлення теплої погоди і припинення нічних заморозків - такі умови переходу весни до літа. Літо триває з другої половини травня до першої половини вересня. В цей же час випадає найбільше дощів, переважно у вигляді злив. Кількість днів з опадами поступово зменшується з наближенням осені. Температура повітря до 13-ї години досягає в травні  $+18 \dots +20^{\circ}\text{C}$ , в червні - серпні  $+21 \dots +25^{\circ}\text{C}$ . Літні максимальні температури досягають в липні і серпні  $+35 \dots +39^{\circ}\text{C}$  [1].

Осінь настає з переходом середньодобової температури повітря через  $+10^{\circ}\text{C}$  в бік зниження. Перед цим близько місяця стоїть тепла погода. Настання осені (перша декада жовтня) супроводжується заморозками, загальним зниженням температури, зменшенням кількості опадів. Характерною особливістю осені на Вінниччині є повернення теплих сонячних днів. Осінь закінчується в кінці листопада, коли середні добові температури повітря переходять через  $0^{\circ}\text{C}$  у бік зниження.

Перед настанням зими на території області середні добові температури скрізь нижче  $0^{\circ}\text{C}$ , але вище  $-5^{\circ}\text{C}$ . До початку зими стоїть нестійка погода: морозні дні змінюються відлигою, не раз виходить і сходить сніговий покрив. Відлиги під час зими є характерними для Вінниччини, а температура повітря

іноді підвищується до +10 ... + 13 °С. Найхолодніші місяці в області - січень і лютий [23].

Північно-західні райони характеризуються більш тривалою зимою, коротшим прохолодним літом, великою кількістю опадів і їх рівномірним розподілом протягом року, порівняно меншими річними амплітудами температур, інтенсивної хмарністю і вітрами північно-західних румбів.

Південні райони області зазнають значний вплив континентальних повітряних мас. Опади бувають здебільшого на початку літа, переважно у вигляді злив. Вітри південно-східного напрямку приносять в ці райони різке похолодання взимку і засуху влітку.

Найбільш відрізняється в кліматичному відношенні районом є Придністров'я. Тут зима настає найпізніше в області. Перший сніг вкриває землю днів на 5 пізніше, ніж в центральних районах області. Весна настає на тиждень раніше.

Вінницька область розташована в лісостеповій зоні. У Лісостепу кліматичні ресурси більш сприятливі для вирощування сільськогосподарських культур. Суми температур понад 10 °С складають від 2600 °С до 2800 °С, що дає змогу вирощувати основні теплолюбні культури ранніх і пізніх строків дозрівання. Кількість опадів коливається від 700 мм на заході до 450 мм на сході. Переважна їх більшість випадає в теплий період року [9].

## II БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Озима пшениця вважається найпоширенішою на земній кулі (в тому числі і в Україні) продовольчою культурою. Зерно пшениці використовує в їжу більше половини населення Землі, так як хліб відрізняється високими смаковими якостями, а за поживністю перевершує інші зернові культури.

Крім хлібопечення, зерно пшениці використовується також для виробництва макаронів і кондитерських виробів, спирту, крохмалю та декстрину. Найважливішими показниками, які характеризують якість пшениці і напрямок її використання, є білок і клейковина. Так, в хлібопекарській промисловості потрібно зерно з вмістом білка 14-15%, а для виробництва макаронів - 17-18%. Найбільш важливими вважаються сорти сильної, цінної і твердої пшениці [11].

### 2.1 Фізіологія розвитку, органогенез та формування елементів продуктивності озимої пшениці

Формування кожного органу, як і цілісної рослини озимої пшениці, проходить етапами. В процесі органогенезу спостерігається певна послідовність проходження етапів. По етапах органогенезу можна з високим ступенем достовірності судити про те, в якому віковому періоді та в якій фазі розвитку знаходиться рослина.

У розвитку однорічного пагону озимої пшениці виявлено 12 етапів органогенезу [16]. Розглянемо основні з них.

*Перший етап* формування пагонів пшениці починається з утворення ініціальних клітин промерістеми. З цих клітин формується первинна утворювальна тканина конуса наростання - меристема, яка дає початок зачаткам зародкових листків і зародкового стебла. Цей етап спостерігається в

період фенофаз сходів і визначає наступні елементи продуктивності: проростання, схожість, густоту стояння рослин.

*Другий етап* пов'язаний з фенофазою третього листа і кушінням. Він характеризується диференціацією підстави конуса наростання на зародкові вузли, міжвузля і зачатки стеблових листків. Це визначає габітус рослини (висота, число листя), коефіцієнт кушіння, зимостійкість. У цю фенофазу спостерігається і *третій етап* органогенезу - процес диференціації головної осі зародкового колоса, зародкового покривного листа і освіти числа члеників колоса.

У фенофазу початку виходу в трубку спостерігається *четвертий етап* - утворення конусів наростання другого порядку (колоскових горбків), що визначає число колосків у колосі і продуктивну кущистість.

У фенофазу виходу в трубку - початку стеблуння відбуваються: *п'ятий етап* органогенезу - закладка покривних органів квітки, тичинок і маточки, що визначають число квіток в колосках, *шостий етап* - формування суцвіття і квітки (мікро- і макроспорогенезе) і *сьомий етап* - гаметофітогенез, зростання покривних органів, подовження члеників, колосового стержня, що визначають фертильність квіток і щільність колосу.

У фенофазу колосіння спостерігається *восьмий етап* органогенезу - гаметогенез, завершення процесів формування всіх органів суцвіття і квітки. У фенофазу цвітіння проходять *дев'ятий етап* - запліднення і утворення зиготи і *десятий етап* - зростання і формування зернівки, що визначають озерненість колоса і величину зернівки.

У фенофазу молочної та воскової стиглості спостерігаються *одинадцятий етап* - накопичення поживних речовин в зернівці (насіння) і *дванадцятий етап* - перетворення поживних речовин в запасні речовини в зернівці (насіння), що визначають масу зернівки.

Таким чином, в ході онтогенезу у рослин озимої пшениці одночасно протікають вікові, етапні і процеси утворення органів. У той же час аналіз взаємозв'язків цих процесів показує, що нормальний морфогенез органів -

одне з найважливіших внутрішніх умов для здійснення вікових істадійних процесів в онтогенезі рослини. Без утворення відповідних морфоструктур з характерними для них фізіологічними функціями та якісно новими перетвореннями речовин нормальний хід онтогенетичних процесів затримується і, незважаючи на наявність сприятливих умов, найчастіше припиняється [16].

Листя пшениці поділяють на зародкові, прикореневі і стеблові. При формуванні зародка в сім'ї з поверхневого шару меристеми конуса наростання утворюються листові горбки. Розростання першого листового горбка призводить до утворення першого листа. Потім таким же способом в певній послідовності утворюються другий і третій зародкові, або прикореневі, листям [13].

Зростання листя і розгортання листових пластинок відбуваються в період від появи сходів і до ІХ етапу органогенезу. Всього на головному пагоні у більшості сортів пшениці закладається 8-10 листків. На бічних пагонах кушіння залежно від порядку кушіння утворюється на 1-3 листки менше. При інтенсивному кушіння на одній рослині може утворитися 30-40 пагонів, що несуть по 3-6 листків, загальне число листя перевищує 100-120.

Лист пшениці здатний змінювати напрямок своєї прихильності до сонця, так що в більшості випадків верхня сторона тієї чи іншої його частини поглинає не тільки відбитий, але і пряме сонячне світло. При цьому листя верхніх ярусів за 1 добу описують майже повне коло.

Така зміна орієнтації листової пластинки дозволяє листю в посушливих умовах захищатися від перегріву, а у вологих районах краще використовувати світло і тепло, які там знаходяться в мінімумі.

Стебло, або соломина, злаків - основний осьовий орган, він несе листя і колос. Стебло виконує механічну (опорну) функцію, складається з метамерних (послідовно розташованих) органів - вузлів з листям і міжвузля. Ріст стебла у пшениці виражається головним чином в значному подовженні міжвузлів і в меншій мірі в їх потовщенні. Інтеркалярне зростання міжвузля в



довжину здійснюється в результаті поділу меристематичних клітин і подальшого їх розтягування [13].

Для росту стебла, як і рослини в цілому, необхідні певні умови освітлення, довжина дня, температура та інші фактори, що забезпечують розвиток пшениці.

При найменшому дефіциті вологи або різкому зниженні температури зростання чергового міжвузля призупиняється і воно залишається укороченим. Найбільш інтенсивно міжвузля стебла ростуть при температурі 24-25 °С.

Коренева система пшениці, як і інших однорічних злаків, мочкувата. В період проростання і появи сходів утворюється первинна коренева система, а потім на початку процесу кушіння розвивається і вторинна.

Як первинні, так і вторинні корені пшениці утворюють кореневі волоски, які розміщуються на відстані 0,1-1,2 см від кінчиків корінців. Та частина кореневої системи, яка покрита кореневими волосками, називається активною діючою областю. Загальна поверхня кореневих волосків у однієї рослини дуже велика (до декількох квадратних кілометрів), завдяки чому коренева система рослин може використовувати мінімальні кількості мінеральних елементів, що знаходяться в ґрунті [28].

Коренева система, яка визначає водний режим і мінеральне живлення рослин, найбільш тісно пов'язана з формуванням зернової продуктивності пшениці. Відомо, що врожай пшениці можна отримати і тоді, коли рослини розвивають лише зародкові корені. Вони грають особливо велику роль в посушливі роки, коли через значний дефіцит вологи в поверхневих шарах ґрунту вузлові корені недорозвинені і рослини ростуть майже виключно за рахунок зародкових коренів, їх діяльність в основному і обмежує величину врожаю.

Зернівка пшениці - сухий односім'яний плід злаків, який в агрономічній практиці зазвичай називають зерном. У зернівці слід розрізняти

власне насіння, що складається з зародка, ендосперму, насінневих оболонок, і плодової оболонки, яка є стінками зав'язі.

Розміри зернівки в залежності від виду, сорту і умов зростання сильно різняться. Довжина її коливається від 4 до 9 мм, ширина - від 0,8 до 2 мм і товщина - від 1,5 до 3,5 мм. Розрізняються вони й по масі - від 20 до 90 мг [13].

Оптимальні умови для проростання зернівок пшениці настають, коли вони поглинають 45-47% води (в% до повітряно-сухої маси). Набухання зернівок пшениці спочатку йде за рахунок поглинання води, а до кінця його діють осмотичні сили, що виникають в результаті гідролізу полісахаридів і інших речовин. При цьому ксерофітні сорти потребують при проростанні в менших кількостях води, ніж мезофітні.

Швидкість проростання, поява корінця, а потім і подальше зростання зародка залежать при достатньому насиченні водою також від температури. Вже при температурі танення льоду зернівки пшениці можуть поглинати воду. Оптимальні температури для проростання насіння пшениці коливаються в залежності від сорту і вологості насіння від 18 до 25 °С, мінімальні - від 1 - 2 °С.

На швидкість проростання насіння впливає доступ кисню. Утруднений доступ кисню при збільшенні глибини посіву насіння або надмірному вмісті води в ґрунті знижує їх схожість. З початком зростання зародка споживання кисню різко збільшується. Діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>), навпаки, знижує енергію проростання насіння. Будь-яке пошкодження зернівки негативно впливає на схожість і подальше зростання рослин [13, 29].

## 2.2 Вимоги озимої пшениці до умов навколишнього середовища

Насіння озимої пшениці можуть прорости при + 1-2 °С, а фотосинтез починається при + 3-4 °С. Зі збільшення температури на фоні інших

сприятливих умов інтенсивність асиміляції підвищується, але при + 35-36 °С різко падає. Кушіння зазвичай починається при температурі + 12-15 °С (приблизно через два тижні після сходів). Якщо сходи з'явилися пізно при низьких осінніх температурах, то час до початку кушіння скорочується, а з початком заморозків припиняється зовсім і знову продовжується тільки навесні [11].

Інтенсивність цього процесу в весняний період значно залежить від запасу вологи у верхньому шарі ґрунту. На бідних піщаних і підзолистих ґрунтах без добрив (особливо під час посухи) озима пшениця кушиться слабо. Підвищенню кущистості сприяє гарний посівний матеріал і азотні добрива. При оптимальних строках сівби, сприятливих умовах зростання і розвитку у цієї культури перед початком зими формується 4-8 пагонів, а довжина зародкових коренів на чорноземах може досягати 100-120 см [30].

Сонячне світло оказує велике значення як на фотосинтез, так і на фізіологічні процеси рослинного організму. Встановлено, що рослини не виколосяться, якщо вони не пройдуть світлову стадію. Зазвичай ця стадія проходить в період кущення – виходу в трубку. Чим довший день, тим швидше зацвітає пшениця. Пшениця відноситься до рослин довгого дня. У весняний період вегетації тривалий світловий день (не менше 13-14 годин) сприяє накопиченню великої кількості пластичних речовин і формуванню вегетативної маси рослин. В цілому тривалість вегетаційного періоду скорочується в умовах довгого дня. Загальна тривалість вегетаційного періоду озимої пшениці, включаючи зимовий період, залежно від сорту і агрометеорологічних умов коливається від 275 до 330 днів [28].

Інтенсивне освітлення в кінці фази кущення - початку виходу в трубку забезпечує формування могутньої асимілюючої поверхні. Продуктивність фотосинтезу в сонячну погоду в цей період може підніматися до 10-14 г/м<sup>2</sup> в добу. Сонячна погода на початку фази виходу в трубку сприяє формуванню коротких, але міцних нижніх міжвузловин, що підвищує стійкість стебел до вилягання під час сильних вітрів і рясних опадів. На

сильно загущених посівах через травостій проникає не більше 10% сонячних променів. На таких полях можливе вилягання навіть в роки, коли на початку фази виходу в трубку були сонячні дні .

Поєднання сонячної і ясної погоди з задовільною забезпеченістю рослин вологою і оптимальними температурами в період формування і дозрівання зерна – один з важливих чинників отримання високого урожаю.

Навесні при хорошому зволоженні верхнього шару ґрунту з вузлів кушіння формуються нові корені, і цей процес може тривати до кінця молочної стиглості зерна та до кінця вегетації.

На чорноземах коренева система проникає до 2,5 м, а на менш родючих ґрунтах вона буває значно слабкіше. На зрошуваних землях основна маса коренів формується в верхньому шарі ґрунту, який регулярно зволожується. Встановлено, що в міру зростання числа вузлових коренів врожайність озимої пшениці підвищується [11].

Від весняного пробудження до колосіння озимої пшениці в різних регіонах зазвичай проходить від 70 до 80 днів. На півночі ця фаза настає швидше за рахунок більш довгих весняних днів. Органічні і азотні добрива сприяють подовженню цього періоду, а фосфорно-калійні - скорочення на 2-4 дня. При температурах від +12 до +30 °С цвітіння пшениці триває близько 7 днів, при жаркій і сухій погоді цей період скорочується до 3-5 днів. Сильні вітри, сухість повітря і ґрунту в період цвітіння є причиною череззерниці [30].

Обмежений приплив вологи і пластичних речовин до зерна гальмує його налив і дозрівання, знижує врожайність. Формування, налив і дозрівання зерна триває близько 30 днів в залежності від сорту і ґрунтово-кліматичних умов. Сприятливі умови для дозрівання складаються при вологості повітря близько 50% і температурі +16-22 °С. При посушливій погоді цей період зменшується, а при дощовій і прохолодною збільшується [28]. Коли настає повна стиглість, то потрібно ще 20-40 днів для фізіологічного дозрівання зерна.

Озима пшениця є досить посухостійкою в порівнянні з ранніми яровими хлібами. Справа в тому, що продукційний процес формування зерна проходить у неї в більш ранні терміни, при цьому краще використовуються осінньо-зимові запаси вологи. Однак при сухій весні цієї вологи може не вистачити, особливо від виходу в трубку до колосіння, тобто в період самого інтенсивного росту рослин. Встановлено [13], що від початку весняного відростання до колосіння пшениці потрібно близько 70% води, яка витрачається за вегетацію, а від цвітіння до воскової стиглості - тільки 20%. Сучасні сорти характеризуються великою стійкістю до низьких температур і при хорошому сніговому покриві можуть витримувати морози до  $-25-30$  °С.

Озима пшениця пред'являє більш високі вимоги в порівнянні з житом до погодних умов, родючості ґрунту і агротехнічних умов, в той же час вона вважається більш посухостійкою. Транспіраційний коефіцієнт її становить 250-350. Коренева система не дуже ефективно поглинає з ґрунту важкорозчинні речовини. Тому низька забезпеченість фосфором і калієм сприяє слабкою загартуванню і поганий перезимівлі. Весняне відростання озимої пшениці буває більш повільним у порівнянні з житом, тому потреба в азотному харчуванні в цей час дуже велика [8].

Важливе значення мають терміни сівби. При пізніх посівах сходи до настання холодів не встигають добре розвинутися і під зиму йдуть ослабленими. Також шкідливі і дуже ранні посіви. Тільки добре розвинуті і укорінені рослини пшениці, що пройшли осінній гарт, стійко переносять всі негоди погоди і дають високі урожаї. Протягом зими потрібно проводити затримання снігу на полях для утеплення посівів і додаткового накопичення вологи в ґрунті, в також боротьбу з крижаною кіркою.

Озима пшениця вважається вимогливою культурою до ґрунтів, хороші умови для неї створюються при рН 6,3-7,6. Для отримання високих і сталих врожаїв їй потрібні родючі, зв'язкові, досить вологі і чисті від бур'янів, чорноземні і темно-каштанові ґрунти. Низькі врожаї вона дає на легких супісках, де не вносяться органічні і мінеральні добрива.

Озима пшениця вважається вимогливою культурою до попередників. Тому одними з кращих для неї є чисті (чорні і ранні) пари, а в зонах достатнього зволоження, на зрошуваних землях і при високій культурі землеробства - зайняті і сидеральні. У виробництві також часто використовуються і непарових попередників (зернобобові культури, багаторічні трави, гречка, льон, картопля і ін.).

Найбільш високі врожаї цієї культури отримують за чистим, зайнятим, сидеральними і кулісним парам. Чисті пари, якщо на них регулярно ведеться боротьба з бур'янами, сприяють підвищенню культури землеробства і родючості ґрунту. Тому в зоні нестійкого зволоження вони не є доказом відсталості господарства, навпаки, їх слід вважати традиційним засобом формування стійкого сільського господарства.

Крім чистих парів, хорошими попередниками озимої пшениці вважаються зайняті, сидеральні та кулісні пари, а також такі культури, які рано звільняють поля (конюшина або еспарцет на один укіс, озиме жито з викою волохатою, зернобобові в суміші з вівсом, ячменем і соняшником на зелений корм). Трохи менші врожаї виходять після зернобобових культур (горох, вика, чина, сочевиця) на насіння, кукурудзи на зелений корм, гречки і ранньої картоплі [11].

Значно нижчі врожаї бувають після непарових попередників (озимі на зерно, ячмінь, кукурудза на силос, соняшник та інші просапні культури). Слід зазначити, що в зоні нестійкого зволоження дуже часто буває недолік вологи в ґрунті після непарових попередників перед посівом озимої пшениці. Хорошим попередником вважається горох на зерно, так як при цьому рано звільняється поле і можна робити ресурсозберігаючу поверхневу обробку ґрунту. Тому дуже важливо так організувати роботу, щоб між прибиранням гороху і обробкою ґрунту не було великої перерви.

Озима пшениця вважається дуже чуйною культурою на органічні (гній, компости та ін.) і мінеральні добрива, так як вони сприяють збереженню та відтворенню родючості ґрунту, економному використанню

грунтової вологи, покращують стійкість до несприятливих погодних умов, підвищують урожай і його якість. Фосфорно-калійні добрива сприяють збільшенню в вузлах кушіння гідрофільних колоїдів, цукру та інших речовин, які захищають озиму пшеницю від несприятливих зимових умов.

У зв'язку з різким скороченням поголів'я сільськогосподарських тварин значно зросла роль сидератів. Наприклад, при достатньому зволоженні на бідних піщаних ґрунтах вони (люпин, середела і ін.) В поєднанні з фосфорно-калійними добривами виявляються більш ефективними, ніж гній. Зелене добриво доцільно якомога ширше практикувати на зрошуваних землях. Більш перспективним вважається спільне застосування органічних і фосфорно-калійних добрив, так як це сприяє створенню в ґрунті сприятливих умов мікробіологічної діяльності. Встановлено, що ефективність їх багато в чому залежала від вологозабезпечення.

На формування 1 т зерна і 1,5 т соломи озимої пшениці потрібно в середньому 37 кг азоту, 13 кг фосфору і 25 кг калію, при цьому оплата 1 кг поживних речовин приростом врожаю зерна може становити до 10 кг. Хоча для озимої пшениці ефективні всі види мінеральних добрив, але більш перспективні такі їх поєднання (NP, PK, NPK), а також мікродобрива (марганець, цинк, бор, мідь) [28].

Азот сприяє формуванню вегетативної маси рослин і підвищує вміст білка в зерні. Особливо велика потреба в ньому буває у рослин рано навесні після відновлення вегетації, але засвоєння його триває до наливу зерна. З урахуванням великої рухливості цього елемента більш доцільним вважається дробове внесення його в критичні періоди потреби рослин. Встановлено, що надлишок азоту восени на чистих парах сприяє зниженню стійкості озимих культур до перезимівлі.

Фосфор вважається дуже важливим елементом для рівномірного появи сходів, швидкого формування кореневої системи і прискорення дозрівання. Особливо велика потреба в ньому буває в перші 30-35 днів після

проростання насіння, потім до кінця вегетації засвоєння його йде рівномірно. Фосфорні добрива рекомендується застосовувати головним чином під основний обробіток ґрунту, а також 10-20 кг / га в рядки при посіві.

Калій сприяє кращій перезимівлі рослин, зниження ураження їх хворобами (коренева гниль, іржа і ін.), Зміцненню стебел. Засвоєння його триває протягом короткого часу після відновлення весняної вегетації. Калійні добрива доцільно застосовувати повністю під основний обробіток ґрунту.

Вапнування вважається дуже ефективним на кислих і торф'яних ґрунтах, так як спільно з органічними і мінеральними добривами воно сприяє створенню більш сприятливого середовища для мікробіологічної діяльності, що призводить до підвищення врожайності. На бідних підзолистих ґрунтах фосфорні туки і вапно рекомендується вносити в суміші з органічними добривами. На кислих торф'яних ґрунтах, які багаті органічною речовиною, вважається за доцільне спільне внесення вапна і фосфорно-калійних добрив. Дози вапна розраховуються, як правило, по повній гідролітичній кислотності ґрунту і складають зазвичай 4-9 т/га [28].

### 2.3 Продукційний процес озимої пшениці при підвищенні концентрації $\text{CO}_2$ в атмосфері

Передбачається, що зміст в атмосфері  $\text{CO}_2$  (0,035%), яке спостерігалось в кінці ХХ ст., до другої половини ХХІ ст. подвоїться і досягне 0,07%. Така зміна клімату викличе зміна донорно-акцепторних відносин і розмірів асиміляційної поверхні, підвищить потенціал продуктивності рослин, змінить потреба сільськогосподарських культур в мінеральному живленні.

Ступінь збільшення фотосинтезу у відповідь на підвищення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері залежить від зовнішніх (температура, водозабезпеченість, освітленість, мінеральне живлення) і внутрішніх (напруженість донорно-акцепторних відносин в рослині і ін.) чинників. При



тривалому вирощуванні озимої пшениці при підвищеній концентрації  $\text{CO}_2$  ефект від початкової активації фотосинтезу (29-98%) і пригнічення дихання (40-60%) зникає, і такі рослини починають відставати в рості від рослин, які ростуть при нормальній концентрації  $\text{CO}_2$ . Одна з причин цього - зменшення ефективності роботи (або швидкості регенерації) рибулезобісфосфат-карбоксілази/оксигенази (РБФК/О) [13].

Теоретично інтенсивність карбоксиліруючої роботи РБФК/О може підвищуватися при збільшенні  $\text{CO}_2$  на 20-30% при одночасному гальмуванні оксигеназної активності на 40%. Однак, на практиці при тривалому впливі високої концентрації  $\text{CO}_2$  на посіви озимої пшениці спостерігається зменшення активності РБФК або її кількості. Причиною цього може бути зниження інтенсивності синтезу самого білка РБФК/О в результаті обмеження доступності азоту і нестачі аденозинтрифосфату.

У першій половині вегетації (10-13 днів) в атмосфері з підвищеним вмістом  $\text{CO}_2$  спостерігається активізація фотосинтезу пшениці (на 29-98%) при одночасному зниженні дихання (на 42-56%). Результатом цього є збільшення величини нетто-фотосинтезу і відповідно активізація зростання при одночасному збільшенні площі листя рослини.

Високий рівень мінерального, зокрема азотного, харчування дозволяє при цьому сформувати в 2 рази більшу площу листя. Реакція рослин на підвищення  $\text{CO}_2$  в більш пізній період вегетації слабкіше. Високі температури, активізуючи подих рослин, сприяють збільшенню співвідношення дихання і фотосинтезу.

Одночасно через збільшення площі листя виникає конкуренція за світло, затінені нижнє листя активно використовують підвищену кількість асимілятів, синтезується рослинами пшениці завдяки високому рівню  $\text{CO}_2$  в повітрі. У цей період найбільш важливі сортові характеристики, особливо стійкість до затінення.

Високий рівень азотного живлення знижує потребу в освітленості, зберігаючи більше рослин на одиниці площі до врожаю.

Вже у ювенільному віці в рослині озимої пшениці, поміщеної в атмосферу з високим вмістом  $\text{CO}_2$ , на конусі наростання починає закладатися більше колосків і квіток. Зернова продуктивність індивідуальної рослини залежить від загибелі частини колосків і квіток, закладених на VI-VII етапах органогенезу (трубкування - колосіння). Чим більше колосків закладається на конусі наростання, тим сильніша конкуренція виникає між ними в процесі росту за метаболіти і тим більше колосків гине. Високий рівень  $\text{CO}_2$  в повітрі не впливає на цю закономірність [26].

На закладку колосків на конусі наростання істотно впливає поєднання чинників  $\text{CO}_2$  та рівню азотного харчування. На високому рівні азотного харчування число закладених на конусі наростання квіток більше. В оптимальних по температурному режиму і водозабезпеченості умовах висока потенційна продуктивність зберігається до врожаю.

У сортів, стійких до нестачі світла, збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  позитивно позначається на зростанні головного стебла, і, мабуть, через це зростання бічних пагонів недостатньо забезпечений метаболітами. У зернових культур (ячмінь, пшениця) існує чіткий компенсаторний механізм росту рослинних особин в ценозі, який залежить від концентрації  $\text{CO}_2$ , освітленості і конкурентоспроможності сорту.

При збільшенні рівня  $\text{CO}_2$  точка ценотичної взаємодії - моменту початку активної конкуренції за світло - настає при накопиченні меншою біомаси і в більш ранній фазі розвитку, ніж при нормальній концентрації  $\text{CO}_2$ . Крім того, підвищена концентрація  $\text{CO}_2$  сприяє подовженню періоду життя деяких листя головного стебла [29].

Мінеральне живлення рослин є настільки ж ефективним керівником механізмом конкурентних відносин, як освітленість і концентрація діоксиду вуглецю. Поліпшення азотного харчування у рослин пшениці викликає наступ точки ценотичної взаємодії при більш низьких величинах накопиченої біомаси, що природно, оскільки це пов'язано з більшою величиною асиміляційної поверхні листя. Збільшення рівня  $\text{CO}_2$  на фоні високої дози

азоту в ґрунті призводить до більш пізнього початку ценотичної взаємодії [13, 29]. Це свідчить про те, що при високій атмосферній концентрації  $\text{CO}_2$  ефективність використання світла одиницею асиміляційної поверхні листа підвищується тільки за умови достатнього рівня азоту в ґрунті.

Підвищена концентрація  $\text{CO}_2$  активізує зростання починаючи з другого тижня вегетації. Зростаюча конкуренція між рослинами за світло і поживні речовини - основний регулюючий фактор росту в ценозі в період всієї вегетації.

До III етапу органогенезу (кущіння) при утриманні  $\text{CO}_2$  0,07% через підвищену ростової активності проявляється недостатність азотного харчування. Висока активність основного ферменту азотного метаболізму - нітратредуктази в листках зберігається при високому рівні  $\text{CO}_2$  і азотного харчування, при низькому рівні азоту в ґрунті активність нітратредуктази істотно знижується.

Разом з тим підвищена концентрація  $\text{CO}_2$  в повітрі не викликає зміни вмісту азоту в рослині. Достатній обсяг ґрунту для оптимального розвитку кореневої системи - необхідна умова того, щоб збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  не викликало зниження концентрації азоту в тканинах рослин.

Зі збільшенням продуктивності зростає і потреба рослин в поживних речовинах. При підвищенні  $\text{CO}_2$  збільшується маса не тільки зерна, а й вегетативних органів. Рівень забезпеченості рослин азотом визначається сухою масою їх і концентрацією азоту в органах. В експериментах з пшеницею істотно підвищилася накопичення азоту в рослині як на низькому (74%), так і на високому (45%) рівнях азотного харчування. В умовах посухи збільшення накопичення азоту в рослині відзначено тільки на високому рівні азотного живлення [8].

При збільшенні рівня концентрації  $\text{CO}_2$  в повітрі вміст білка в зерні пшениці має тенденцію до зниження. Накопичення фосфору рослинами збільшувалася від збагачення атмосфери  $\text{CO}_2$  на 120 і 140% відповідно на низькому і високому рівнях азотного харчування.

Активізація зростання і розвитку кореневої системи завдяки активній фотосинтетичної діяльності рослин при утриманні  $\text{CO}_2$  в повітрі 0,07% призводить до посилення поглинання поживних речовин (N, P, K) при відносно низьких температурах повітря в денний і нічний час доби (20 і 14 °C) накопичення фосфору підвищується, наприклад, на 23%, при більш високих (23 і 17 °C) - на 33% [13].

Отже, винос поживних елементів з ґрунту при збагаченні атмосфери  $\text{CO}_2$  значно збільшується. Важливо, що це відбувається без порушення співвідношення макроелементів.

Встановлено, що в умовах водного дефіциту транспорт асимілятів в листі при звичайній концентрації  $\text{CO}_2$  порушується раніше, ніж у варіанті з вмістом  $\text{CO}_2$  0,07%. У рослин контрольного варіанту (0,035%  $\text{CO}_2$ ) вже на 5-й день посухи спостерігалось зниження вмісту сахарози в листках. До кінця посухи, навпаки, відзначено різке зростання її змісту в результаті порушення відтоку. При збагаченні  $\text{CO}_2$  зниження вмісту сахарози спостерігалось тільки до 10-го дня посухи.

В атмосфері, збагаченої  $\text{CO}_2$ , уникнути падіння водного потенціалу листа в умовах наростаючої посухи рослині легше, оскільки збільшується розмір кореневої системи. Це дозволяє рослині добувати воду з нижчих шарів ґрунту. Крім того, менша величина устічної щілини обмежує втрати води [8, 15].

В умовах оптимального поливу в першій половині вегетації (до 36 днів) сумарне випаровування вологи з поверхні мікроценозу в атмосфері, що містить 0,07%  $\text{CO}_2$ , нижче на 40%, ніж у контролі, а інтенсивність транспірації одиниці листової поверхні - на 60%. Надалі інтенсивний ріст листя на бічних пагонах і збільшення площі листя в дослідному варіанті призводять до різкого підвищення (на 25%) випаровування в цілому з поверхні посіву, що пояснюється уповільненим старінням листя.

## 2.4 Характеристика розповсюджених в Україні сортів

Однією з найскладніших проблем селекції основний зернової культури в Україні - озимої пшениці є поєднання в одному сорті високого потенціалу врожайності, стійкості до комплексу біотичних і абіотичних факторів з поліпшеними технологічними властивостями зерна і борошна.

Однак, за даними [41], аграрії в формуванні сортової структури використовували не більше 50% зареєстрованих сортів озимої пшениці [38], часто незаслужено обділяти увагою нові пропозиції. Так, за результатами [41] в 2017 році було використано 223 сорти озимої пшениці, на 15 з яких припадає 52% всіх посівних площ. Як відзначили в Насінневої асоціації України, така ситуації обумовлена тим, що з кожним роком фермерам все складніше підбирати сорти для подальшого виробництва. Варто відзначити, що сортові переваги і їх різноманітність багато в чому завісили від розміру господарства. Сільгосп підприємства з посівною площею до 1 тис. Га в більшості випадків віддавали перевагу п'яти сортам озимої культури. Так, в п'ятірку найкращих увійшли Шестопалівка, Кубус, Подолянка, Землячка одеська і Богемія. У сегменті середніх сільгосп підприємств (1-5 тис.га) серед лідерів по засіяної площі були відзначені сорти Шестопалівка, Богдана, Подолянка, Смуглянка і Антонівка.

У той же час, в господарствах з площею понад 5 тис.га сортові переваги аграріїв дещо відрізняються. За даними опитування [41], в зазначеному сегменті сільгоспвиробники в своїй сортової структурі часто використовують такі сорти, як Богдана, Антонівка, Смуглянка, Куяльник та Скаген.

Так, розглядаючи найкращі сорти в розрізі регіонів, слід зазначити, що в південних областях найбільш поширене використання насіння сортів Шестопалівка, Антонівка, Куяльник, Місія одеська, Одеська 267 і Благодарка одеська. У той же час, аграрії східних областей інформували про те, що віддають перевагу сортам Богдана, Подолянка і Фаворитка.

Сільгоспвиробники західних областей частіше за все при формуванні сортової структури використовують такі сорти, як Мулан і Богемія, а аграрії центрального регіону - Скаген і Самурай.

«Фаворитка» - сорт м'якої пшениці. Дозріває за 283-287 днів. Рослина середнього зросту. Вміст клітковини - 31-32%. Може витримувати сильні заморозки, але не сильно стійкий до посухи, своєчасний полив також вкрай важливий. Врожайність 96-107 ц/га.

«Подольанка» була створена в 2003 році в Україні. Дозріває за 305-310 днів. Вмістом клітковини - 32-36%. Рослина стійка до морозів і посухи. Врожайність 60 ц/га.

«Шестопалівка» була виведена в 2007 році. Відноситься до м'якої різновиди. Зростає до 85-90 см у висоту. Період дозрівання 280-285 днів. Колоски кольору сухої трави. Вага одного зерна 0,042-0,044 г, клітковини в ньому міститься до 30%, а білка в межах 14%. Врожайність 7-8,5 т/га. Перевагою є стійкість до заморозків, осипання колосків, посухи, вилягання, хвороб.

«Антонівка» український сорт озимої пшениці, виведений в 2008 році. Відрізняється швидким ростом - 280-285 днів до повного дозрівання, приживання на різних територіях. Має імунітет до комплексу фітохвороб. Сорти без проблем переживають заморозки, посухи.

«Куяльник» - сорт українських селекціонерів, Може дати до 100 ц/га врожаю. Одне зерно важить до 0,042 г, яйцеподібний, жовте. Вирощується в північних регіонах, так як морозів не боїться.

Великим попитом також користуються такі сорти: «Солоха» (врожайність 80-90 ц/га), «Одеська 267» (72,3 ц/га), «Херсонська безоста» (57,6 ц/га).

Стійкість пшениці озимої до холодів грає ключову роль при виборі сорту. Якщо в теплих регіонах цей показник невизначний, то в північних від нього залежить цілісність врожаю на наступний рік.

Велику роль у створенні зимостійких сортів зіграли українські селекціонери. Саме ними були виведені відомі в усьому світі «Харківська 96», «Харківська 105». Вони не вимогливі до умов вирощування, можуть виносити дуже сильні морози. Більш того, вони вирощуються навіть за умови запізненого сівби. Сюди ж варто віднести «Харус», Астет», «Василина» ще три зимостійких виду універсального призначення, середній показник врожайності кожного з них становить 8,0-8,6 т/га. У зерні цього типу приблизно 14,5 % білка і 29 % клейковини. Вищеописані сорти озимої пшениці - мала, але найкраща частка всіх існуючих озимих сортів пшениці. Описані різновиди показали себе з найкращого боку. Вони випробувані в різних країнах і відповідають критеріям якості [39].

### III СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

#### 3.1 Сучасний стан моделювання продукційного процесу посівів сільськогосподарських культур в умовах зміни клімату

Майбутні зміни клімату є однією з найбільших проблем, що стоїть перед людством в новому столітті. Потреба в інформації про зміни клімату необхідна для того, щоб оцінити їх вплив на людину і природні системи з метою розвитку відповідних засобів адаптації і стратегії пом'якшення негативного впливу кліматичних змін на національному і навіть регіональному рівні. Очевидно, що зміни клімату відбувалися постійно, але сучасні зміни характеризуються значними швидкостями та високою повторюваністю несприятливих метеорологічних процесів та явищ і потребують як постійного моніторингу, так і прогнозування майбутніх змін [10, 33, 36].

Застосування чисельних моделей для вирішення поставлених задач є найбільш оптимальним, оскільки розвиток обчислювальної техніки та й самих моделей в останні десятиліття досягли значних успіхів. Контрольні розрахунки клімату останніх століть за допомогою глобальних кліматичних моделей підтвердили їх здатність відтворювати основні тенденції та зміни в кліматичній системі планетарного масштабу.. Досвід застосування такого методу в Європейських країнах [14, 25] показує, що отримані в моделях проєкції можна використовувати як початкові для подальших прогнозів в суміжних та кліматозалежних галузях науки та господарської діяльності. Але такий підхід потребує певних попередніх перевірок (верифікацій) в регіоні, для якого застосовуються чисельні моделі, та методів формування ансамблю з кліматичних моделей як найефективнішого їх використання для того, щоб



зменшити ті невизначеності, які виникають у будь-якому прогнозі, тим більше на далеку перспективу [7].

Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. При цьому використовуються кліматичні моделі різних рівнів складності, від простих кліматичних до моделей перехідної складності, повних кліматичних моделей і моделей усєї Земної кліматичної системи. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів. Для нових кліматичних розрахунків, виконаних у рамках проекту Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme), використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP) [32].

Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів. Слово репрезентативний означає, що кожна RCP показує лише один з багатьох можливих сценаріїв, які призвели б до отримання конкретних характеристик радіаційного впливу. Термін траєкторія підкреслює, що розглядаються не тільки рівні довгострокових концентрацій, але також і їх очікувана зміна, побудована в часі для визначення кінцевого результату. В усіх сценаріях RCP атмосферна концентрація CO<sub>2</sub> є вищою за сьогоднішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO<sub>2</sub> протягом XXI століття.

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 2,6 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP2.6; 4,5 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP4.5; 6,0 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP6.0 і 8,5 Вт·м<sup>-2</sup> для RCP8.5. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу (RCP2.6); два сценарії стабілізації (RCP4.5 і RCP6.0) і сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів (RCP8.5) [25,

32]. Згідно RCP6.0 і RCP8.5, радіаційне вплив не досягає максимального значення до 2100 р., а продовжує постійно збільшуватись; в RCP2.6 цей вплив досягає максимуму і потім знижується; і в RCP4.5 він стабілізується до 2100 р.

Таким чином, RCP можуть відображати результати цілого ряду заходів в області клімату в XXI-му столітті в порівнянні з їх відсутністю в Спеціальній доповіді про сценарії викидів (СДСВ), що використовувались в попередніх доповідях з питань зміни клімату [31].

Сценарії СДСВ були розроблені лише з використанням послідовного підходу, іншими словами, соціально-економічних, демографічних та технологічних факторів, які потім використовувалися в простих кліматичних моделях для визначення концентрацій парникових газів.

З іншого боку, кожен сценарій RCP представляє набори даних з високим просторовим розділенням щодо змін у землекористуванні і викидів забруднюючих повітря речовин за секторами економіки, а також визначає річні концентрації парникових газів і антропогенних викидів.

Сценарії RCP ґрунтуються на комбінації комплексних оціночних моделей, простих кліматичних моделей та моделей атмосферної хімії і глобального вуглецевого циклу. Хоча RCP охоплюють широкий діапазон значень сукупних впливів, вони не включають весь спектр викидів, описаних в літературі, особливо по аерозолях [25, 32].

### 3.2 Моделювання формування продуктивності зернових культур

Життєвий цикл культури озимої пшениці поділяється на кілька важливих етапів, які значно відрізняються один від одного проходженням біологічних процесів і типом обміну речовин у рослині, а також впливом агрометеорологічних умов на ці процеси. Існують різні методи оцінки

взаємозв'язку між погодними умовами, технологіями вирощування і врожайністю сільськогосподарських культур. Усі ці методи оцінки можна розділити на дві групи. Перша група складається з імітаційних моделей сільськогосподарських культур, які дають безпосередньо оцінку впливу погодних і ґрунтових умов на фізіологію рослин. Ці типи моделей корисні, тому що вони зосереджені на моделюванні специфічних впливів загальновідомих фізіологічних і біологічних факторів, які впливають на ріст і розвиток рослин на протязі їхнього життєвого циклу.

Друга група складається з моделей множинної регресії, які оцінюють взаємини погодних умов, технологій вирощування і врожайності культур. Одним з переваг моделей множинної регресії над імітаційними моделями є те, що моделі множинної регресії охоплюють як погодні умови, так і технологічні аспекти зміни врожайності з плином часу.

Регресивні моделі розроблені для прогнозування врожайності зернових культур для території штатів Іллінойс, Індіана, і Айова розроблена Л.М. Томпсоном [35], включає в себе середньомісячні дані про кількість опадів і спостережень за температурою повітря з 1930 по 1962 рр. Модифікована модель включає в себе щомісячні спостереження з 1960 по 2006 роки.

В.Л. Діксон і інші автори [34] стверджували, що регресивні моделі, засновані на середньомісячних метеорологічних даних потенційно менш корисні для оцінки і прогнозування врожайності, ніж ті моделі, які засновані на метеоданих в певні стадії розвитку культури. Проте, результати їх досліджень показали, що поліпшення моделей системи «рослина-погода» з використанням щотижневих змінних з прив'язкою до розвитку культури було незначним і вимір змінних було значно складним і трудомістким.

При побудові довгоперіодичних динамічних моделей формування продуктивності сільськогосподарських культур використовуються методологія, розроблена Ю.К. Россом [24], Х.Г. Тоомінгом [27], а також

сформульовані цими авторами принципи моделювання ряду фізіологічних процесів.

У основі моделі А.М. Польового [21] лежить система рівнянь радіаційного, теплового, водного балансів і балансу біомаси в рослинному покриві системи "середовище – рослина". Система "середовище – рослина" розглядається як складна динамічна система, що розвивається під впливом внутрішніх і зовнішніх чинників, в якій виділяються процеси росту, розвитку та формування продуктивності рослин в їх складній взаємодії. Моделювання процесу росту і розвитку рослин містить кількісний опис процесів фотосинтезу, дихання, росту та розвитку рослин.

Польовим А.М. та Кульбідію Н.І. [22] розроблена модель формування врожаю озимої пшениці в Україні періоду весняно-літньої вегетації, яка включена в автоматизоване робоче місце агрометеоролога-прогнозіста. За основу моделі взято базову динамічну модель формування врожаю сільськогосподарських культур, в яку був внесений цілий ряд істотних модифікацій з більш детальним врахуванням впливу волого-температурного режиму на процес фотосинтезу та комплексній оцінці впливу на ріст і формування репродуктивних органів таких екстремальних явищ, як посуха і суховії, полягання посівів, «стікання» зерна.

Антоненко В.С. [2] запропонував динамічну модель росту, розвитку та формування врожаю озимої пшениці, що описує весь життєвий цикл культури "від насіння до насіння". Модель призначена для інтерпретації аерокосмічної інформації і відповідно до цільового призначення моделі, в неї включені характеристики зовнішнього середовища і параметри стану рослинного покриву, які дозволять використати дистанційну інформацію про стан ґрунтово-рослинного покриву.

Вітченко О.М. [5] розроблена діїаміко-статистична модель оцінки агроекологічного потенціалу ландшафтів та встановлені функції впливу агроекологічних факторів (сонячної радіації, ґрунтової родючості, вологості ґрунту, температури повітря, умов перезимівлі та ін.), Визначені параметри

моделі для основних сільськогосподарських культур оброблюваних в Білорусі (озиме жито, озима пшениця, ярий ячмінь, картопля і льон-довгунець), обґрунтовані і запропоновані показники: ступеня негарзди кліматичних умов, що характеризує розмір втрат врожайності, обумовлені лімітуючою дією кліматичних умов вегетаційного періоду, рівня використання агрокліматичних ресурсів та рівня реалізації агроекологічного потенціалу ландшафтів.

### 3.3 Базова динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур

Структура моделі визначається виходячи з закономірностей формування гідрометеорологічного режиму у системі ґрунт – рослина – атмосфера і біологічних уявлень про ріст і розвиток сільськогосподарських культур під впливом чинників зовнішнього середовища. У основі моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового і водного балансів, балансу біомаси (вуглеводів та азоту) у рослинному покриві [21].

Модель складається із 8 блоків:

1. Блок вхідної інформації.
2. Блок радіаційно-теплового режиму рослинного покриву.
3. Блок водного режиму рослинного покриву.
4. Блок фотосинтезу.
5. Блок дихання і старіння рослин.
6. Блок мінерального живлення.
7. Блок росту (розподіл структуроутворюючих компонентів – вуглеводів і азоту).
8. Блок формування площі листя.

Розглядається, що рослина складається з двох функціонально пов'язаних частин: надземної (shoot) і підземної (root), які у свою чергу поділяються на окремі органи або їх складові частини. Виділяються:

функціонуючі листки ( $l_{func}$ ), пожовклі листки ( $l_{yel}$ ), відмерлі листки ( $l_{mor}$ ), зелені стебла ( $s_{gr}$ ), пожовклі стебла ( $s_{yel}$ ), функціонуючі корені ( $r_{func}$ ), відмерлі корені ( $r_{mor}$ ), функціонуючі репродуктивні органи ( $p_{func}$ ), дозріваючі репродуктивні органи ( $p_{rip}$ ).

Маса  $m$  окремих органів та їх окремих частин складається з двох компонентів – маси вуглеводів С і маси азоту N. Моделюється, що під впливом екзогенних і ендогенних чинників у рослині відбувається формування єдиного фонду вільних вуглеводів  $C_{lab}$  та єдиного фонду вільного азоту  $N_{lab}$ .

*Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву.*  
Радіаційний баланс рослинного покриву можна представити у вигляді суми довгохвильової і короткохвильової радіації:

$$R_L = Q_L + F_L ; \quad (3.1)$$

$$R_S = Q_S + F_S , \quad (3.2)$$

де  $R_L$  і  $R_S$  – радіаційний баланс рослинного покриву (РП) і поверхні ґрунту;

$Q_L$ , і  $Q_S$  – величини поглиненої короткохвильової радіації РП і поверхні ґрунту;

$F_L$  і  $F_S$  – величини балансу довгохвильової радіації РП і поверхні ґрунту.

Величини поглиненої короткохвильової радіації рослинного покриву і поверхні ґрунту визначаються за співвідношеннями:

$$Q_L = Q_o(1 - \alpha_{LS}); \quad (3.3)$$

$$Q_S = Q_o a_Q (1 - \alpha_S), \quad (3.4)$$

де  $Q_o$  – сумарна короткохвильова радіація над верхньою межею РП;

$\alpha_{LS}$  і  $\alpha_S$  – альбедо РП і поверхні ґрунту;

$a_Q$  – функція пропускання сумарної радіації РП.

Альбедо рослинного покриву визначається за формулою

$$\alpha_{LS} = \alpha_{Lh_o} + (\alpha_S - \alpha_{Lh_o}) \exp[-L(1 + \operatorname{ctgh}_o / \pi)], \quad (3.5)$$

$$\alpha_{Lh_o} = \frac{0,4084}{1 + 1,1832 \sinh_o}.$$

Альбедо поверхні ґрунту визначається в залежності від зволоження ґрунту за допомогою рівняння

$$\alpha_S = \begin{cases} \alpha_S^{\max} & \text{при } W_{SS} < W_{WP} \\ \alpha_S^{\max} - (\alpha_S^{\max} - \alpha_S^{\min}) \frac{W_{SS} - W_{WP}}{W_{FC} - W_{WP}} & \text{при } W_{WP} \leq W_{SS} \leq W_{FC}, \\ \alpha_S^{\min} & \text{при } W_{SS} > W_{FC}, \end{cases} \quad (3.6)$$

де  $\alpha_S$  – альбедо поверхні ґрунту;

$\alpha_S^{\max}, \alpha_S^{\min}$  – альбедо сухого і досить зволоженого ґрунту;

$W_{SS}$  – вологість поверхневого шару ґрунту;

$W_{WP}$  – вологість стійкого в'янення;

$W_{FC}$  – найменша вологоємність ґрунту.

Функцію пропускання сумарної радіації знаходимо за формулою

$$a_Q = (1 - c_2) \exp\left(-\frac{k_s^L L}{\sinh_o}\right) + c_2 \exp\left(-c_3 \frac{k_s^L L}{\sinh_o}\right), \quad (3.7)$$

де  $c_2, c_3$  – емпіричні постійні;

$k_S^L$  – емпірична постійна, що характеризує вплив геометричної структури РП на пропускання сонячної радіації.

Величини балансу довгохвильової радіації визначаються за такими формулами:

$$F_L = (F_A + \varepsilon_S \sigma T_S^4 - 2\varepsilon_L \sigma T_L^4)(1 - e^{-kL}), \quad (3.8)$$

$$F_S = F_A e^{-kL} - \varepsilon_S \sigma T_S^4 + \varepsilon_L \sigma T_L^4 (1 - e^{-kL}), \quad (3.9)$$

де  $F_A$  – противипромінювання атмосфери

$\varepsilon_L$  і  $\varepsilon_S$  – коефіцієнти сірості листя і ґрунту;

$\sigma$  – постійна Стефана-Больцмана;

$T_L, T_S$  – температура листя і ґрунту;

$k$  – емпіричний параметр орієнтації листя.

Противипромінювання атмосфери визначається за виразом

$$F_A = \varepsilon_a \sigma T_a^4, \quad (3.10)$$

де  $T_a$  – температура повітря;

$\varepsilon_a$  – коефіцієнт довгохвильового випромінювання, який може бути визначений за емпіричною формулою

$$\varepsilon_a = 0,398 \cdot 10^{-5} \cdot T_a^{2,148}. \quad (3.11)$$

Потік тепла у ґрунті приймається пропорційним радіаційному балансу поверхні ґрунту

$$B_S = c_{BS} R_S, \quad (3.12)$$

де  $c_{BS}$  – емпірична постійна.

Сумарна короткохвильова радіація визначається за формулою



$$Q_o = A_1 \left( \frac{1}{\tau} + S \right)^{A_2} \exp \left( -A_3 \frac{S}{\tau} \right) + A_4 \exp \left[ -A_5 \left( 1 - \frac{S}{\tau} \right) (\sinh_o)^{A_6} \right] \quad (3.13)$$

де  $A_1 - A_6$  – константи;

$\tau$  – тривалість світлого часу доби, від сходу до заходу Сонця.

*Моделювання водного режиму рослинного покриву.* Вологоперенесення у ґрунті. Рівняння потоку води в системі ґрунт – корінь розглядається одночасно як для насиченого так і ненасиченого середовища

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{1}{C(\psi)} \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\Theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(\psi)}{C(\psi)}, \quad (3.14)$$

де  $\psi$  - потенціал тиску ґрунтової вологи;

$C(\psi) = \frac{d\Theta}{d\psi}$  - диференціальна вологоємність;

$K(\Theta)$  – гідравлічна провідність;

$\Theta$  – об'ємна вологість;

$S(\psi)$  – поглинання води коренями;

$t$  – час;  $z$  – вертикальна координата.

Як початка умова ( $t = 0$ ) задається

$$\psi(z, t = 0) = \psi_0(z). \quad (3.15)$$

За граничні умови приймається:

– на нижній межі ( $z_{so}$ ) потенціал тиску задається як

$$\psi(z = z_{so}, t) = \psi_{so}(t), \quad (3.16)$$

– на рівні ґрунтових вод величини

$$C(\psi) = 0 \quad \text{і} \quad \psi(z_{so}, t) = 0; \quad (3.17)$$

– на поверхні ґрунту  $z_o$  (верхня межа)

$$P_s - E = -K(\Theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \quad \text{при} \quad P_s - E < J_{\max}; \quad (3.18)$$

$$\Theta = \Theta_{\max} \quad \text{при} \quad P_s - E \geq J_{\max}$$

де  $P_s$  – кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту;

$E$  – випаровування з поверхні ґрунту;

$J_{\max}$  – максимально можлива інтенсивність інфільтрації при вологості ґрунту на його поверхні, дорівнює  $\Theta_{\max}$ .

Кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту, знаходиться як

$$P_s = P_o - P_L, \quad (3.19)$$

де  $P_o$  – кількість опадів, що випали;

$P_L$  – кількість опадів, перехоплених рослинним покривом, яка залежить від величини листкової поверхні

$$P_L = 0,2 L, \quad (3.20)$$

де  $L$  – відносна площа листкової поверхні (листяний індекс).

Величина джерельно-стокового члена  $S(\psi)$  визначається в залежності від потенціалу тиску і максимальної швидкості поглинання води  $S_{\max}$

$$S(\psi) = \alpha_s(\psi) S_{\max} / f_{depth}^{root} \quad (3.21)$$

приймаємо, що  $S_{\max} = T_r$ , де  $T_r$  – транспірація;

$f_{depth}^{root}$  – функція розподілу коренів на глибині;

$\alpha_s(\psi)$  – функція впливу водного потенціалу ґрунту на поглинання води кореневою системою.

Транспірація рослинного покриву визначається за формулою Пенмана

$$T_r = \frac{\Delta \left( \frac{R_L}{\lambda} \right)}{\Delta + \gamma_{ef}} + \frac{ET_{pot}}{\Delta + \gamma_{ef}}, \quad (3.22)$$

де  $\Delta$  – нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря;

$\gamma_{ef}$  – ефективна психрометрична постійна;

$R_L$  – радіаційний баланс РП;

$ET_{pot}$  – випаровуваність;

$\lambda$  – прихована теплота пароутворення.

Випаровуваність визначається за допомогою рівняння

$$ET_{pot} = \frac{(e_s - e_a) \rho c_p}{r_a}, \quad (3.23)$$

де  $e_s$  – тиск насиченої пари при даній температурі повітря;

$e_a$  – фактичний тиск водяної пари;

$\rho$  – густина повітря;

$c_p$  – теплоємність повітря;

$r_a$  – опір прилежого шару.

Ефективна психрометрична постійна знаходиться за формулою

$$\gamma_{ef} = \gamma \frac{r_a + r_{st}}{r_a}, \quad (3.24)$$

де  $\gamma$  – психрометрична постійна;

$r_{st}$  – продиховий (устячковий) опір дифузії водяної пари для листя.

Опір примежового шару визначається за виразом

$$r_a = \frac{\ln[(z - d_o) / z_o]^2}{\chi^2 u}, \quad (3.25)$$

де  $d_o$  – висота шару витіснення;

$z_o$  – висота шару шорсткості;

$\chi$  – постійна Кармана;

$u$  – швидкість вітру на висоті  $z$ .

Продиховий опір визначається за формулою

$$r_{st} = \frac{1}{g_n + \frac{g_x Q_o}{Q_o + p_r}} \quad (3.26)$$

де  $g_n$ ,  $g_x$ ,  $p_r$  – емпіричні параметри.

Випаровування з поверхні ґрунту  $E_S$  визначається як

$$E_S = \frac{(\Delta R_S) \cdot 1,26}{\Delta + \gamma}. \quad (3.27)$$

*Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин.*

Фонд вільних вуглеводів рослин на кожному часовому кроці являє собою баланс продуктів фотосинтезу і продуктів розпаду тканин (при стресових умовах або старінні рослин), а також витрат на дихання

$$\frac{dC_{lab}}{dt} = \Phi + C_{hydr} - R, \quad (3.28)$$

де  $C_{lab}$  – фонд вільних вуглеводів;

$\Phi$  – маса продуктів фотосинтезу;

$C_{hydr}$  – маса вуглеводів, що утворюються при розпаді тканин, які старіють;

$R$  – витрати вуглеводів на дихання рослин.

Процес фотосинтезу листя описується з врахуванням впливу на фотосинтез рівня мінерального живлення, фази розвитку рослин, температурного режиму і вологозабезпеченості рослин.

При стресових умовах і старінні рослин відбуваються процеси розпаду тканин. Ці процеси описуються рівняннями кінетики ферментативного каталізу. При достатньо високій концентрації гідролізуемого субстрату, швидкість розпаду може бути описана рівнянням реакції нульового порядку, а при достатньо низькому – рівнянням реакції першого порядку

$$\frac{dC_{ihydr}}{dt} = K_{hydr}^0 K_{hydr}(T_a) K_{hydr}(W) \quad \text{при} \quad C_i \geq C_{icrit} \quad (3.29)$$

і

$$\frac{dC_{ihydr}}{dt} = K_{hydr}^1 K_{hydr}(T_a) C_i K_{hydr}(W) \quad \text{при} \quad C_i < C_{icrit} \quad (3.30)$$

де  $K_{hydr}^0$  – константа швидкості реакції нульового порядку;

$K_{hydr}^1$  – константа швидкості реакції першого порядку;

$K_{hydr}(T_a), K_{hydr}(W)$  – функції впливу температури повітря  $T_a$  і вологості ґрунту  $W$  на швидкість розпаду;

$C_{icrit}$  – критична кількість вуглеводів, що визначають початок реакції розпаду як реакції першого порядку;

$C_i$  – кількість вуглеводів тканин, які старіють.

Витрати на дихання росту і дихання підтримки моделюються з використанням концепції Мак-Крі і з врахуванням зміни інтенсивності дихання в онтогенезі та під впливом температури повітря

$$\frac{dR}{dt} = \alpha_R \left[ C_G \frac{dm}{dt} + C_m m \varphi_R \right], \quad (3.31)$$

де  $C_G$  – коефіцієнт витрат на дихання росту;

$C_m$  – коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

$\alpha_R$  – онтогенетична крива дихання;

$dm / dt$  – приріст біомаси рослин;

$m$  – маса рослин;

$\varphi_R$  – температурна крива дихання.

#### IV АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ В ЗАХІДНОМУ ЛІСОСПЕТУ ЗА УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

##### 4.1 Сучасний стан та перспективи вирощування озимої пшениці

Озима пшениця по своїх біологічних особливостях відрізняється від ярових колосових культур. На початок весняної вегетації вона має розвинену кореневу систему, добре використовує весняний максимум вологи і тому краще переносить весняні і літні засухи, дає вищі і постійні урожаї. Посіви озимої пшениці вигідні господарствам тим, що частина посівних робіт переноситься на осінь, а прибирання починається раніше.

Найважливішими показниками, які характеризують якість пшениці і напрямок її використання, є білок і клейковина. Так, в хлібопекарській промисловості потрібно зерно з вмістом білка 14-15%, а для виробництва макаронів - 17-18%. Найбільш важливими вважаються сорти сильної, цінної і твердої пшениці [11, 12].

Відходи борошномельного виробництва (висівки, борошняний пил) йдуть на кормові цілі. Часто озиму пшеницю сіють для отримання раннього корму в системі зеленого конвеєра. Солому і полуу раніше також використовували на корм, а останнім часом почали застосовувати як органічне добриво.

Пшениця озима широко вирощується в Україні із застосуванням сучасної інтенсивної технології. Суть останньої полягає в оптимізації умов вирощування пшениці озимої на всіх етапах росту й розвитку рослин. Вона передбачає: розміщення культури після кращих попередників; використання інтенсивних сортів; інтегровану систему захисту рослин від бур'янів, хвороб та шкідників, застосування добрив на заплановану врожайність дотримання високої професійної та виконавської дисципліни механізаторів при виконанні

усіх технологічних операцій; організацію біологічного контролю за станом росту і розвитку рослин на основних етапах органогенезу [18].

Головними виробниками зерна пшениці, крім України, є Китай, Росія, США, Індія, Канада, Франція. На рисунку 4.1 представлено динаміка виробництва озимої пшениці в Україні. В останні роки площі під пшеницею озимою в Україні збільшуються.

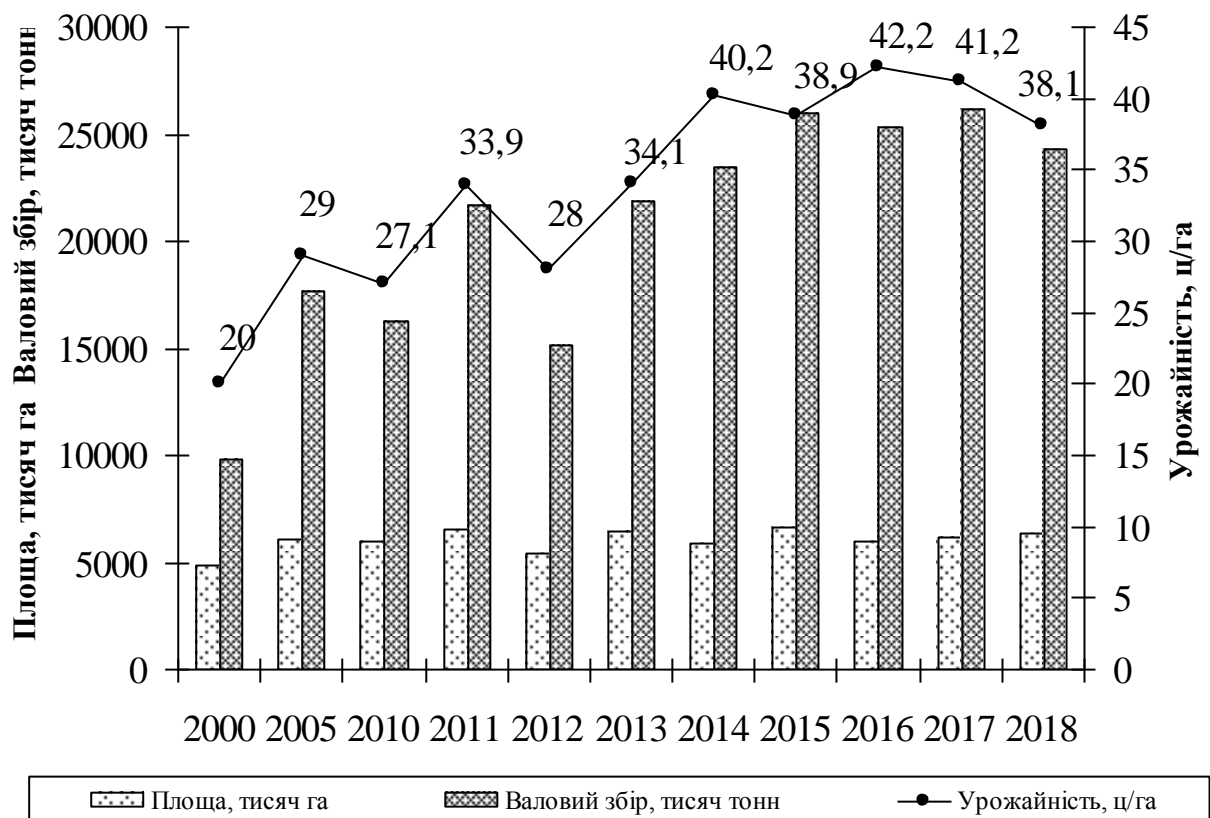


Рисунок 4.1 - Динаміка виробництва озимої пшениці в Україні [32]

Під урожай пшениці озимої 2017 і 2018 року в Україні, за даними Держкомстату, було засіяно 6160 і 6371 тисяч га відповідно, у порівнянні – в 2000 році це значення становило 4888 тисяч га. Відповідно, й валовий збір також істотно збільшився - в середньому до 25000 та 26000 тисяч тонн, у порівнянні – в 2000 році це значення становило набагато менш – всього 9775 тисяч тонн. Врожайність пшениці озимої також підвищилася. Так, урожай



пшениці озимої 2017 та 2018 роках в Україні становив 41,2 і 38,1 ц/га відповідно, у порівнянні – в 2000 році це значення становило 20,0 ц/га [37].

Товарні ресурси зернового ринку і повнота задоволення потреби в різних видах зерна значною мірою визначаються розміром, структурою посівних площ, врожайністю і як похідною цих параметрів складом валових зборів зернових культур. Врожайність і валовий збір не відрізняються стабільністю. Високі врожаї зерна припадають, в основному, на роки з відносно сприятливими погодними умовами.

Найбільші врожаї пшениці озимої отримують в Лісостепу України 12, [20]. На рисунку 4.2 представлено врожайність зерна пшениці озимої в Лісостепу України та площі під цією культурою в розрізі областей станом на 2018 рік.

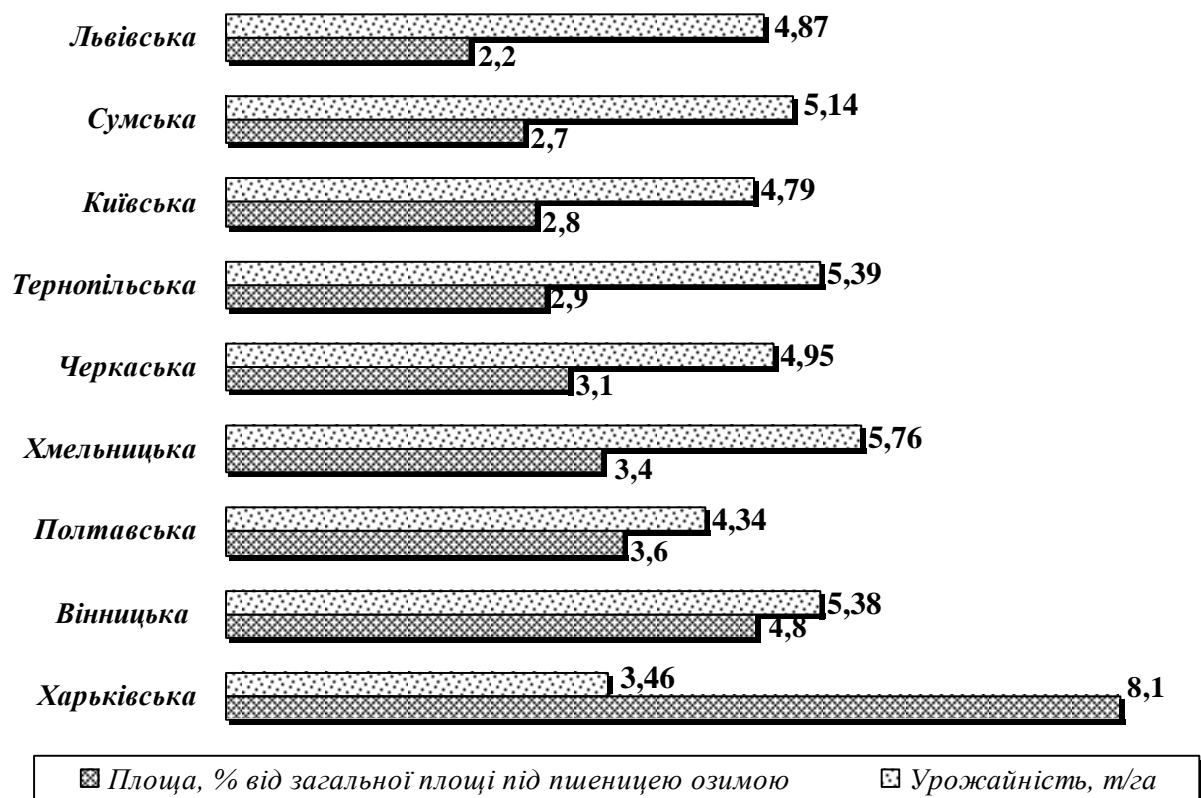


Рисунок 4.2 - Врожайність зерна пшениці озимої в Лісостепу України та площі під цією культурою в розрізі областей станом на 2018 рік [32].

Так, врожайність пшениці озимої в Хмельницькій області становила 57,6 ц/га – це найбільше значення по Україні, трохи менш в Тернопільській та Вінницькій областях – близько 54 ц/га. Найменший врожай пшениці озимої в Лісостепу в 2018 році отримано в Харківській області – 34,6 ц/га, при цьому площа під пшеницею тут найбільша. Найменші площі було засіяно в Львівській області – 140 тисяч га, що становить 2,2 % від загальної площі під озимою пшеницею в Україні [18].

#### 4.2 Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в умовах зміни клімату

Урожайність сільськогосподарських культур, в тому числі й озимої пшениці залежить від багатьох факторів, серед яких найважливішими є світло, тепло, волога, мінеральне живлення тощо. Зміни клімату, які особливо відчутні в останнє десятиліття, спричиняють зміну агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці, які, в свою чергу, спричиняють зміну темпів розвитку культури, показників формування її продуктивності, яка значною мірою визначає рівень врожайності.

Для оцінки можливих змін клімату нами було використано сценарій RCP4.5 - (репрезентативні траєкторії концентрації), який являє собою сценарій середнього рівня викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [21].

Одним із найпростіших методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-якої метеорологічної величини є порівняння з минулими даними, зокрема, середніми багаторічними величинами за базовий період [17, 19]. В даному дослідженні за базовий береться період з 1991 по 2010 рр.

Слід зазначити, що вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів

культури. Для дослідження впливу кліматичних змін на продуктивність озимої пшениці на фоні зміни кліматичних умов нами розглядались такі варіанти:

- базовий (середні багаторічні);
- кліматичні умови періоду;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO<sub>2</sub> в атмосфері до 470 ppm.

Розрахунки виконувались для Західного Лісостепу на прикладі Вінницької області. Слід підкреслити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності сільськогосподарських культур розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів жита озимого в припущенні, що вони суттєво не зміняться. Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів розглядалась нами за різні проміжки часу. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано сценарій змін клімату в Україні RCP4.5.

Агрокліматичні умови періоду вегетації озимої пшениці за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 (2021 - 2050 рр.) в Західному Лісостепу у порівнянні з середньо багаторічними даними (1991 - 2010 рр.) представлено на рис.4.3. Як видно з графіку, період вегетації озимої пшениці за умов реалізації сценарію «клімат» буде проходити на фоні знижених температур та зменшеної кількості опадів наприкінці та збільшенням опадів в середині вегетації.

Розглянемо, як під впливом змін клімату будуть змінюватись дати настання фаз розвитку озимої пшениці, показники розвитку по міжфазних періодах, показники фотосинтетичної продуктивності та врожай. За даними 1991-2010 рр. (базовими), дати відновлення вегетації майже співпадають з датами переходу температури повітря через 5°C, і спостерігаються в третій декаді березня – 28 березня. За умов реалізації сценарію зміни клімату дата відновлення вегетації зміститься на більш пізні строки – 7 квітня (табл. 4.1).

Поява нижнього вузла соломини, як показали наші розрахунки, спостерігається при накопиченні суми активних температур порядку 390 °C

(табл. 4.2) - 4 травня. За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5, дата появи нижнього вузла соломини очікується 12 травня, що на вісім днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 4.1).

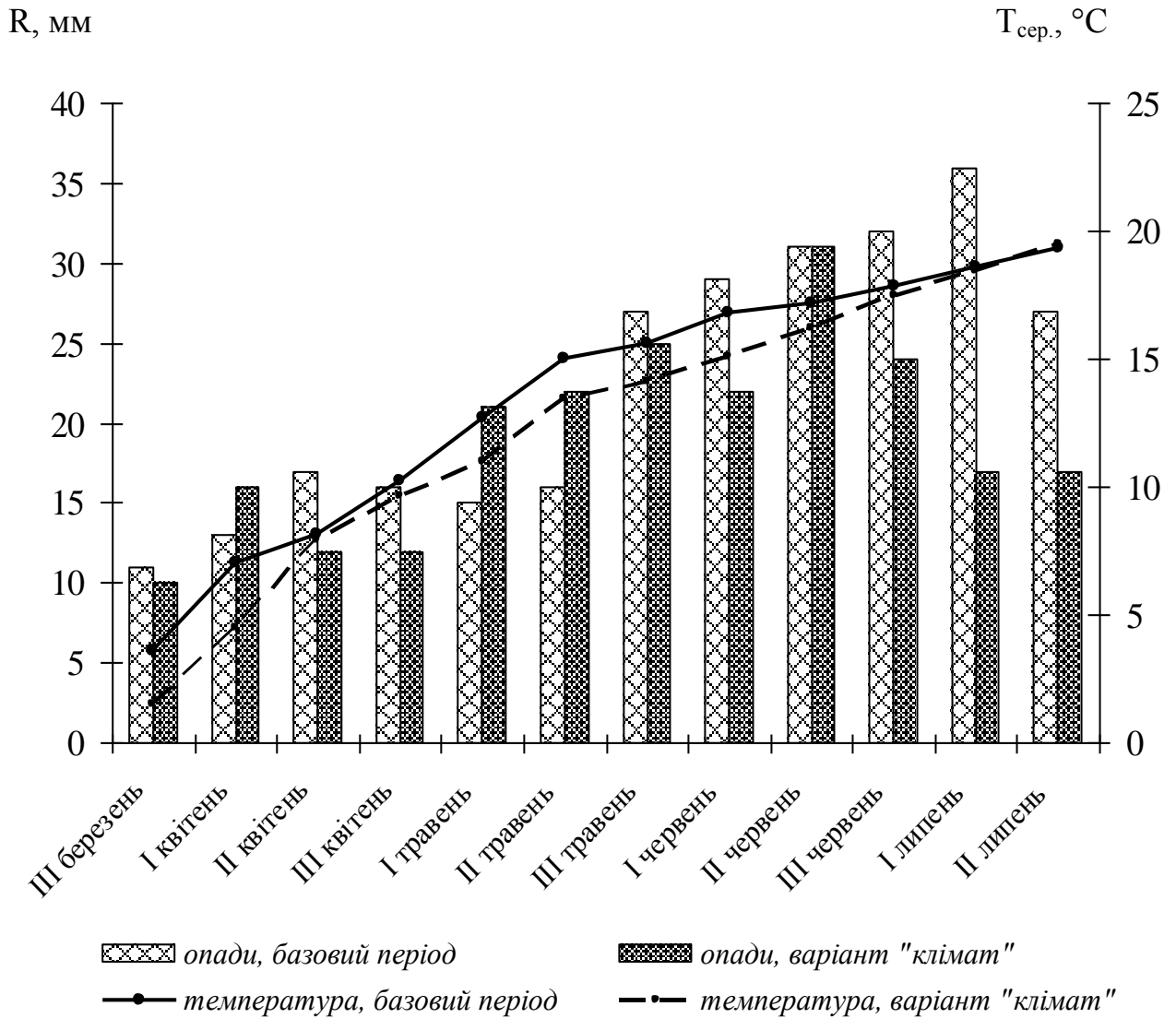


Рисунок 4.3 – Агрокліматичні умови періоду вегетації озимої пшениці в Західному Лісостепу за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991- 2010 рр.)

Колосіння озимої пшениці за середньо багаторічними даними (1991 - 2010 рр.) спостерігається 30 травня. За умов реалізації сценарію зміни

клімату RCP4.5, на території Вінницької області дата колосіння очікується 6 липня, що на десять днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Фази розвитку озимої пшениці за середньо багаторічними даними (1991-2010 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (2021- 2050 рр.)

Період	Відновлення вегетації	Поява нижнього вузла соломини	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість періоду, дні
1991-2010	28.03	4.05	30.05	10.07	105
2021-2050	7.04	12.05	9.06	20.07	106
Різниця	+11	+8	+10	+10	+2

Воскова стиглість озимої пшениці за середньо багаторічними даними (1991-2010 рр.) спостерігається 10 липня. За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 дата воскової стиглості буде спостерігатися 20 липня, що на десять днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 4.1).

Температурні умови грають важливу роль в житті рослин. Вони можуть прискорити або сповільнити їх розвиток в певні періоди. Максимальна продуктивність рослин проявляється тільки при оптимальному температурному режимі, властивому кожному виду, сорту і змінюваному по фазах їх розвитку.

Сума температур за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP4.5 менш лише на 11 °С ніж за середньо багаторічними даними (1991-2010 рр.). Середня температура повітря на території Вінницької області за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) становитиме 9,2 °С, що на 0,4 °С більше, ніж за середньо багаторічними даними (1991-2010 рр.). Тривалість періоду в умовах зміни

клімату RCP4.5 (2012-2050 pp.) скоротиться на 10 днів, ніж за середньо багаторічними даними (1991-2010 pp.) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 - Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці за середньо багаторічними даними (1991-2010 pp.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (2021-2050 pp.)

Показник	1991-2010	2021-2050	Різниця
Відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини			
t	8,8	9,2	+0,4
T	318	312	-6
R	100	100	0
N	38	28	-10
Поява нижнього вузла соломини - колосіння			
t	14,9	14,2	-0,7
T	387	398	+11
R	100	141	+41
N	26	28	+2
Колосіння – воскова стиглість			
t	18,2	17,9	-0,3
T	748	750	+2
R	100	78	-22
N	41	42	+1
Весь вегетаційний період			
t	14,0	13,9	-0,1
T	1453	1460	+7
R	100	96	-4
N	105	106	+1
V	0,86	0,84	-0,02
ГТК	1,5	1,4	-0,1
Примітка: t - середня температура повітря за період, °С; T - сума активних температур за період, °С; R – сума опадів за період, %; N- тривалість періоду, дні; V - вологозабезпеченість, від.од.; ГТК – гідротермічний коефіцієнт.			

Середня температура повітря на території Вінницької області за період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) буде на 0,7 °С менш, ніж за середньо багаторічними даними (1991-2010 рр.), та становить 14,2 °С. Тривалість періоду в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) збільшиться на 2 дні, ніж за середньо багаторічними даними (1991-2010 рр.) (табл. 4.2).

Температурний режим періоду колосіння – воскова стиглість буде проходити на фоні незначної різниці температур (табл. 4.2). Середня температура повітря на території Вінницької області за період в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) буде на 0,3 °С менш, ніж за середньо багаторічними даними (1991-2010 рр.), та становить 17,9 °С. Тривалість періоду в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) збільшиться на 1 день, ніж за середньо багаторічними даними (1991-2010 рр.) (табл. 4.2).

Порівняння сум температур за вегетаційний період озимої пшениці в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.) з таким же показником в базовий період показує, що ці суми зростуть не значно, не дивлячись на зміщення початку вегетації на більш пізні терміни, різниця температурного фон у цьому випадку буде не суттєвою – лише на 7 °С (табл. 4.2).

Роль вологи в житті рослин величезна. За допомогою води відбувається транспорт елементів мінерального живлення з коренів в надземні частини, а асимілятів з листя - до інших органів рослин, а також підтримується необхідний при цьому температурний режим.

І.Ф. Букша [4] зазначає, що кількість атмосферних опадів для території України змінилася несуттєво, проте помітними є зміни інтенсивності та характеру їх випадання. В.О.Балабух [36] також відмічає, що останнім часом почастишали випадки, коли за кілька годин випадає половина або місячна норма опадів. Підвищення температури повітря та нерівномірний розподіл опадів, які мають зливовий, локальний характер у теплий період і не

забезпечують ефективне накопичення вологи в ґрунті, може спричинити зростання повторюваності та інтенсивності посух.

Для оцінки вологозабезпеченості вегетаційного періоду озимої пшениці аналізувались такі ж періоди як і для теплозабезпеченості: базовий 1991 – 2010 рр. та розрахунковий за кліматичним сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.). При цьому розглядались такі показники: сума опадів за період та вологозабезпеченість. Результати розрахунків представлені у таблиці 4.2.

Так, кількість опадів у період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) в Вінницькій області у порівнянні з базовим періодом (1991-2005 рр.) очікується незмінною (табл. 4.2).

Кількість опадів у період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) збільшиться на 41 % від середньо багаторічних значень (1991-2005 рр.) (табл. 4.2).

За період колосіння – воскова стиглість в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) в Вінницькій області у порівнянні з базовим періодом (1991-2005 рр.) очікується зниження на 22 % (табл. 4.2).

В цілому за період вегетації озимої пшениці в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) в Вінницькій області у порівнянні з базовим періодом (1991-2005 рр.) очікується незначне зниження на 4 % (табл. 4.2).

За таких умов значення вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) на території Вінницької області зменшиться на 0,02 відносних одиниці (табл. 4.2) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Значення гідротермічного коефіцієнту за період вегетації озимої пшениці в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) зменшиться на 0,1 у порівнянні з базовим періодом (1991-2005 рр.) та становитиме 1,4.

Як бачимо, найбільші відмінності було виявлено в період поява нижнього вузла соломини - колосіння. Це зменшення середньої температури на 0,7 °C за умов зміни клімату у порівняння з базовим періодом, та



збільшення суми опадів на 41% за умов зміни клімату у порівняння з базовим періодом.

В період поява нижнього вузла соломини – колосіння озиме жито проходить IV, V, VI та VII етапи органогенезу – формування колосових горбків та формування квіток. В цей період необхідна температура повітря не нижче 15 °С та достатнє зволоження ґрунту. Цей період вважається критичним по відношенню до вологи.

Таким чином, можна зробити висновок, що за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) умови вегетації озимої пшениці в Західному Лісостепу будуть проходити на фоні знижених температур у порівнянні з середньо багаторічними даними. Очікується перерозподіл кількості опадів за міжфазні періоди вегетації озимої пшениці, що пов'язано з здвигом настання фаз розвитку культури.

#### 4.3 Оцінка продуктивності озимої пшениці в умовах зміни клімату

Зміни агрокліматичних умов спричинять зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів озимої пшениці що обумовить рівень її врожайності. Для надання порівняльної характеристики продуктивності озимої пшениці в умовах зміни клімату за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату в Західному Лісостепу на прикладі Вінницької області були розраховані такі величини, як площа листя озимої пшениці, чиста продуктивність фотосинтезу та приріст маси в період максимального розвитку рослини. Також розглядалась суха біомаса цілої рослини культури та її врожай (табл. 4.3).

Як видно із таблиці площа листя в період максимального розвитку в середньому за базовий період становить 3,95 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. За умов реалізації сценарію RCP4.5 (2012-2050 рр.) по варіанту «клімат» очікується збільшення площі листя до 4,4 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, за варіантом «клімат + CO<sub>2</sub>» очікується збільшення

площі листя в порівнянні із її середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат» та становитиме  $4,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

Таблиця 4.3 - Показники фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 рр.) в Вінницькій області

Період	Варіант	Період максимального росту			Суша біомаса цілої рослини, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай, ц/га
		площа листкової поверхні, $\text{м}^2/\text{м}^2$	приріст загальної сухої біомаси, $\text{г}/\text{м}^2$ за добу	Чиста продуктивність фотосинтезу, $\text{г}/\text{м}^2$ за добу		
1986–2005	Базовий	3,95	32,1	9,0	1342	100
2021–2050	Клімат	4,40	33,8	8,1	1279	85
	Клімат + CO <sub>2</sub>	4,92	38,9	8,4	1468	98

На рисунку 4.4 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посівів озимої пшениці в Вінницькій області в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 рр.).

Як бачимо, впродовж вегетаційного періоду динаміка наростання площі листя за умов зміни клімату та за середньо багаторічних умов була однаковою, але кількісні її показники значно відрізняються.

Головним фактором формування врожаю озимої пшениці є інтенсивність фотосинтезу листя. На рисунку 4.5 представлена динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу посівів озимої пшениці в Вінницькій області в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 рр.).

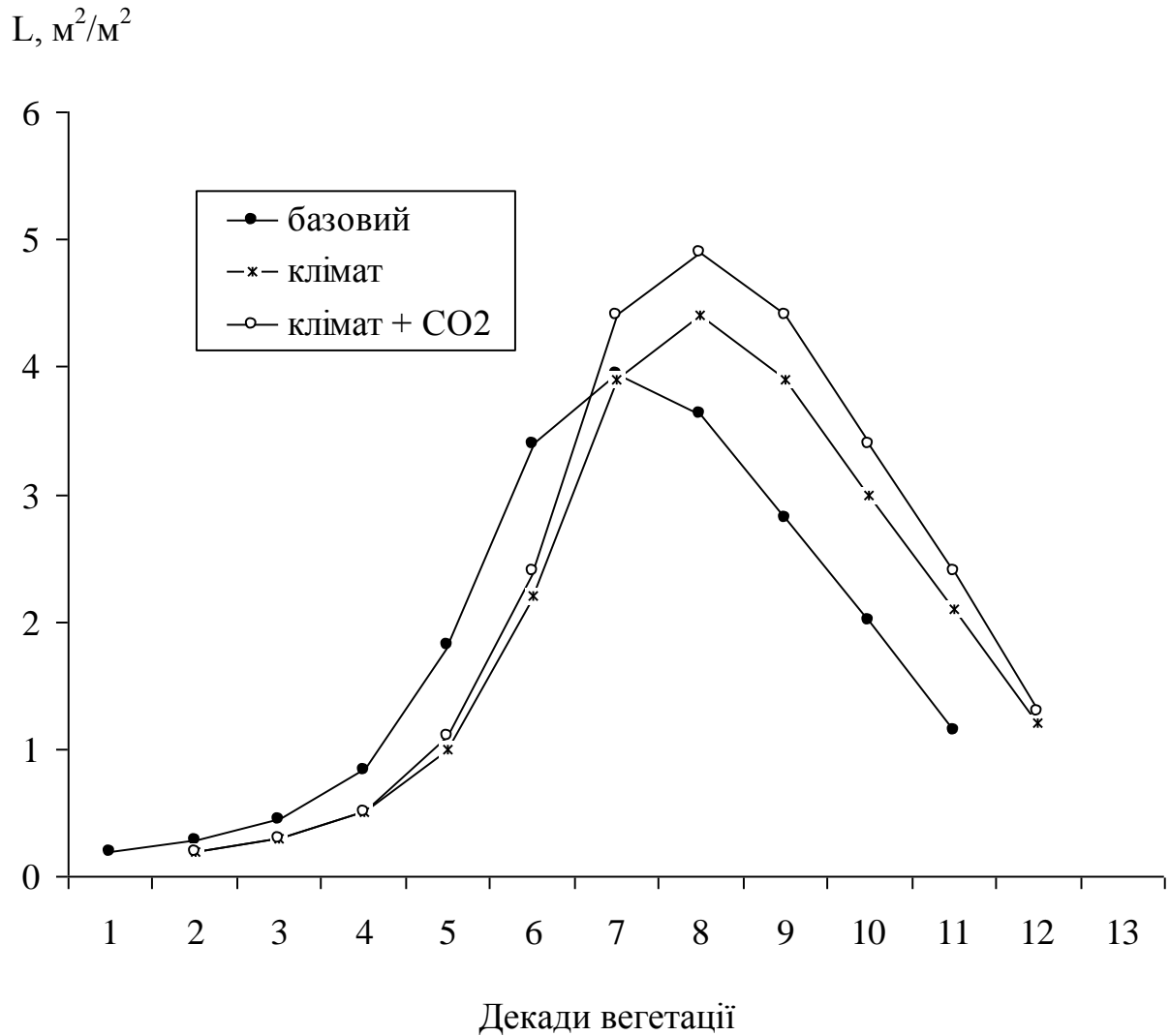


Рисунок 4.4 - Динаміка відносної площі листя ( $L$ ) посівів озимої пшениці за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 рр.)

Інтенсивність фотосинтезу залежить від багатьох факторів. Інтенсивність світла, необхідна для найбільшої ефективності фотосинтезу, у різних рослин різна. У тіньовитривалих рослин максимум активності фотосинтезу досягається приблизно при половині повного сонячного освітлення, а у світлолюбних рослин - майже при повному сонячному освітленні.

ИФ,  $\text{мгСО}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{година})$

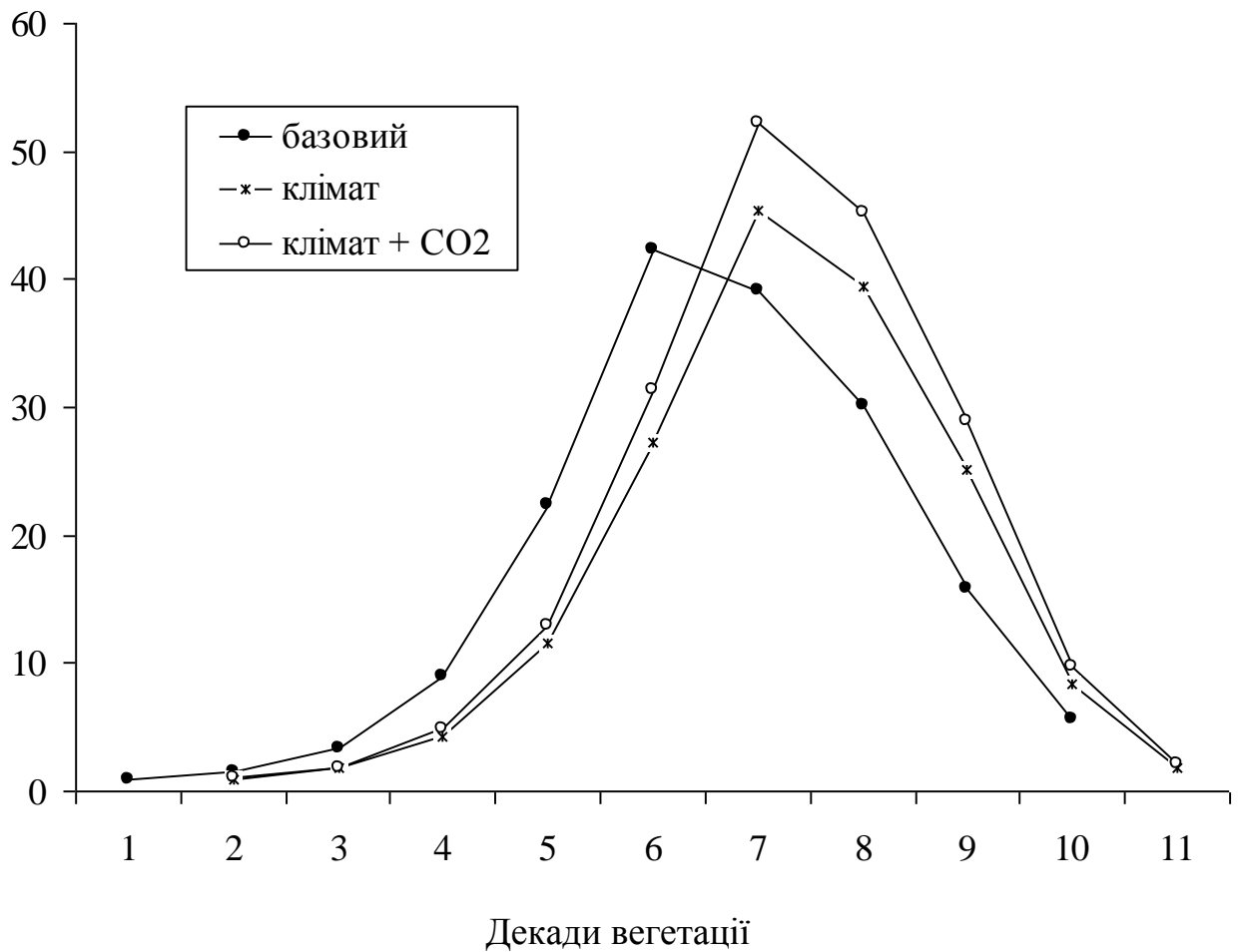


Рисунок 4.5 - Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу (ИФ) посівів озимої пшениці за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 рр.)

Також на інтенсивність фотосинтезу впливає температура навколишнього середовища. Найбільша інтенсивність фотосинтезу спостерігається при температурі 20-28 °С. При подальшому підвищенні температури інтенсивність фотосинтезу падає, а інтенсивність дихання зростає. Коли інтенсивності фотосинтезу і дихання збігаються, кажуть про компенсаційний пункт [29].

Так, максимальні значення інтенсивності фотосинтезу листя озимої пшениці за умов реалізації сценарію RCP4.5 (2012-2050 pp.) по варіанту «клімат» та «клімат + CO<sub>2</sub>» очікуються в сьомій декаді (45,4 та 52,2 мгCO<sub>2</sub>/(дм<sup>2</sup>\*година)), а за умов базового періоду в шостій декаді (42,3 мгCO<sub>2</sub>/(дм<sup>2</sup>\*година)), що в обох випадках відповідає фазі колосіння.

Як бачимо, впродовж вегетаційного періоду графік ходу динаміки середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу посівів озимої пшениці в Вінницькій області в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 pp.) у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 pp.) аналогічне графіку динаміки наростання площі листя озимої пшениці, але кількісні її показники значно відрізняються. Вивченню чистої продуктивності фотосинтезу як важливій складовій врожаю озимої пшениці приділено велику увагу. У цього показника є три основні переваги: він визначається за тривалі проміжки часу, протягом яких коливання, пов'язані з віковим станом листя, ярусною мінливістю, короткочасними змінами погодних умов та іншими причинами, згладжується і елемент випадковості зводиться до мінімуму; в вивчення залучається велика кількість рослин, що дозволяє отримувати статистично достовірні дані [13].

На рисунку 4.6 представлена динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів озимої пшениці в Вінницькій області в умовах зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 pp.) у порівнянні з базовим періодом (1991 - 2010 pp.).

Чиста продуктивність фотосинтезу визначає продукційний процес озимої пшениці. Одним із зовнішніх проявів фотосинтезу є збільшення маси фотосинтезуючих тканин за рахунок фотосинтетичного утворення органічних речовин. Як бачимо, значення чистої продуктивності фотосинтезу посівів озимої пшениці за умов реалізації сценарію RCP4.5 (2012-2050 pp.) по варіанту «клімат» та «клімат + CO<sub>2</sub>» є зниженими у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 pp.). Це пов'язано з реакцією рослин на підвищення CO<sub>2</sub>, так через збільшення площі листя виникає конкуренція за світло,

затінені нижнє листя активно використовують підвищену кількість асимілятив, синтезується рослинами озимої пшениці завдяки високому рівню  $\text{CO}_2$  в повітрі.

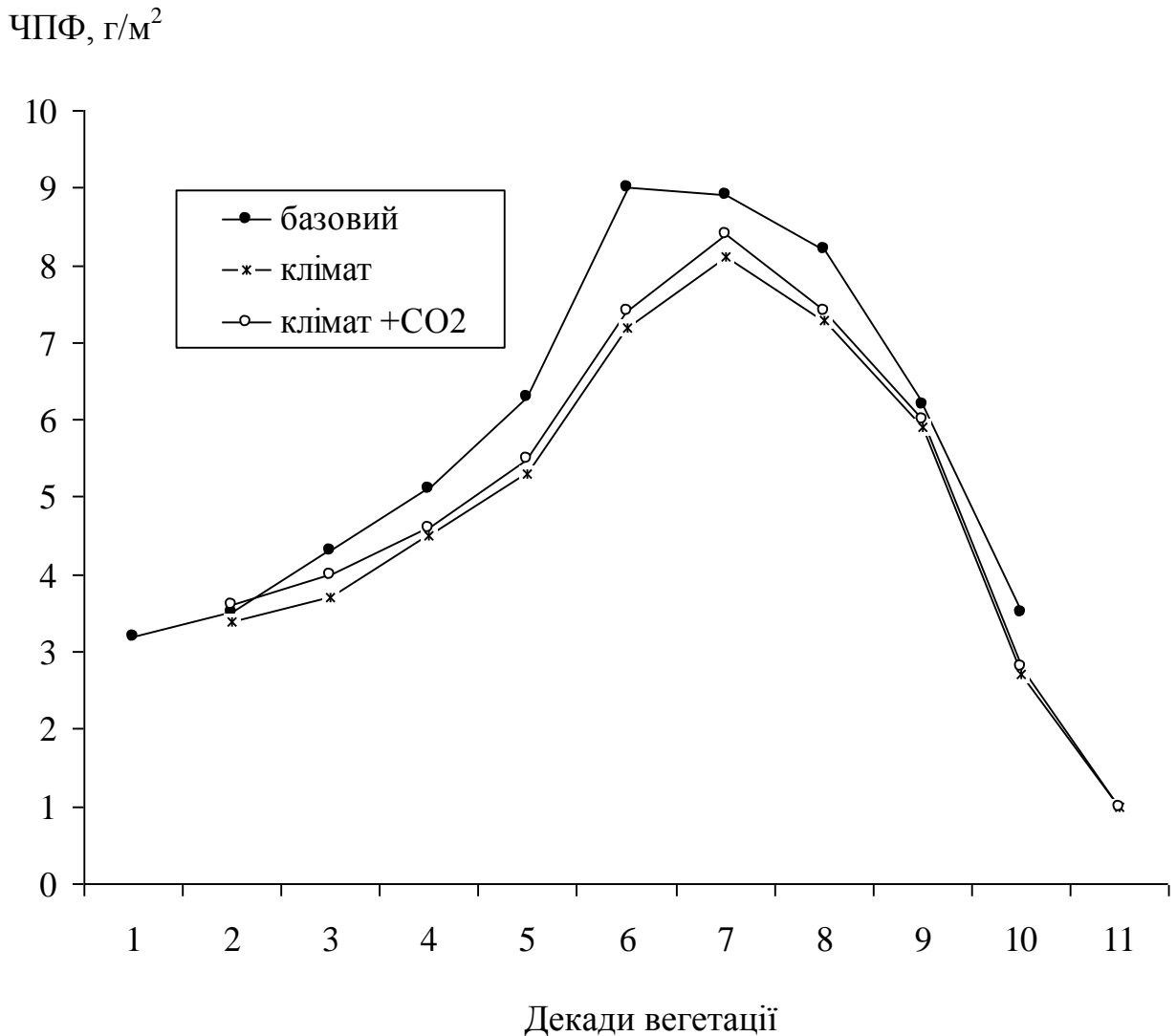


Рисунок 4.6 – Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) посівів озимої пшениці за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991- 2010 рр.)

При тривалому виростанні озимої пшениці при підвищеній концентрації  $\text{CO}_2$  ефект від початкової активації фотосинтезу (29-98%) і

пригнічення дихання (40-60%) зникає, і такі рослини починають відставати в рості від рослин, які ростуть при нормальній концентрації  $\text{CO}_2$ .

Така реакція рослин на підвищення  $\text{CO}_2$  обумовила і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси озимої пшениці (рис. 4.7) та її приростів (рис. 4.8). Важливою умовою продукційного процесу формування врожайності зерна озимої пшениці вважається накопичення сухої біомаси рослин. При добре розвинутій вегетативній масі продуціюється значна кількість асимілятів, яка потім може бути реутилізована в зерно.

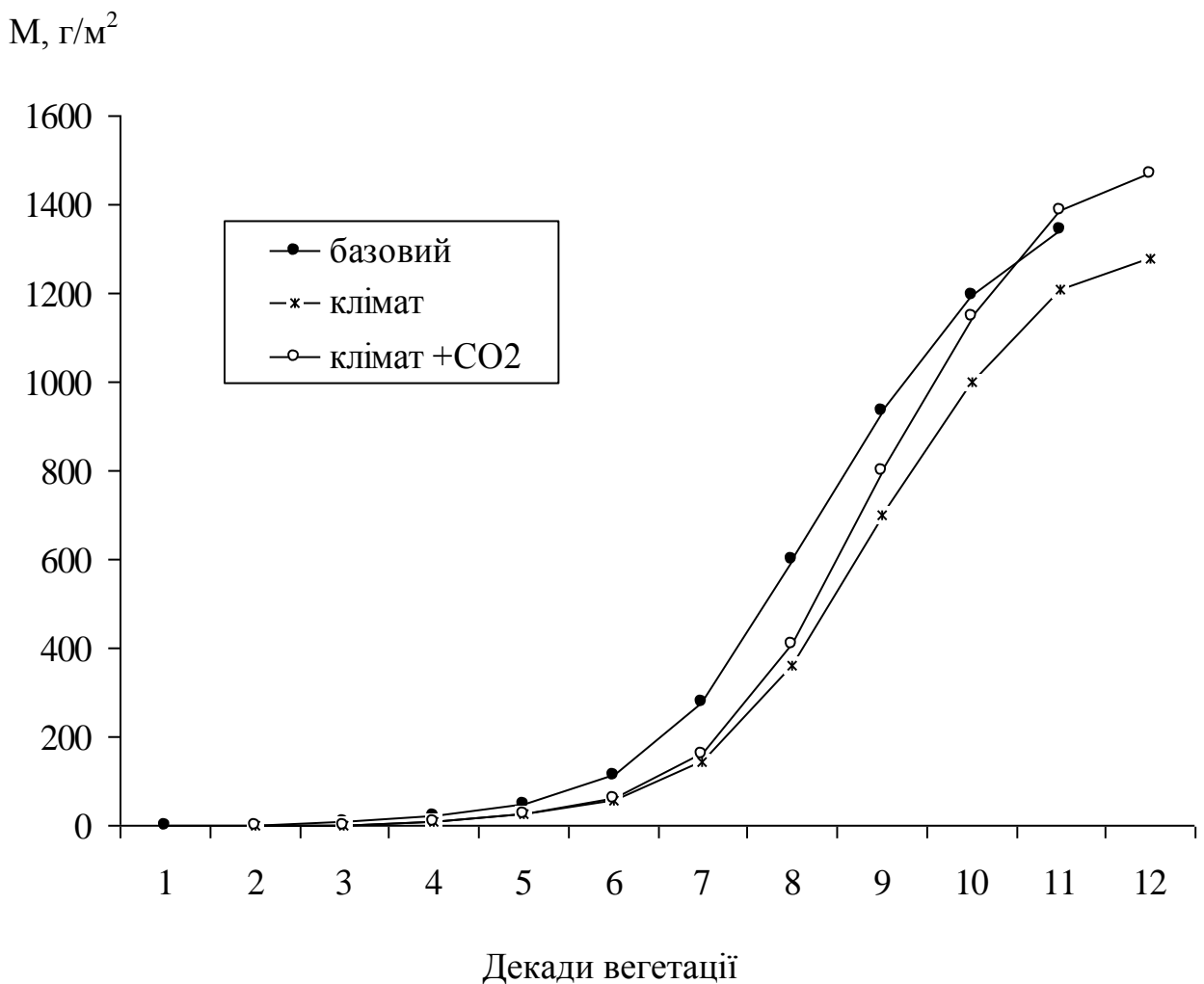


Рисунок 4.7– Динаміка загальної сухої біомаси озимої пшениці (М) за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 рр.)

Накопичення сухої речовини посівом залежить від швидкості фотосинтезу, на яку впливають зовнішні і внутрішні фактори. Так, загальна суха біомаса озимої пшениці за варіантом «клімат» зменшиться до 1279 г/м<sup>2</sup> (табл. 4.3). За варіантом «клімат + CO<sub>2</sub>» очікується збільшення загальної сухої біомаси до 1468 г/м<sup>2</sup> в порівнянні із її середнім багаторічним значенням (1342 г/м<sup>2</sup>) і в порівнянні з варіантом «клімат».

ΔM, г/м<sup>2</sup>

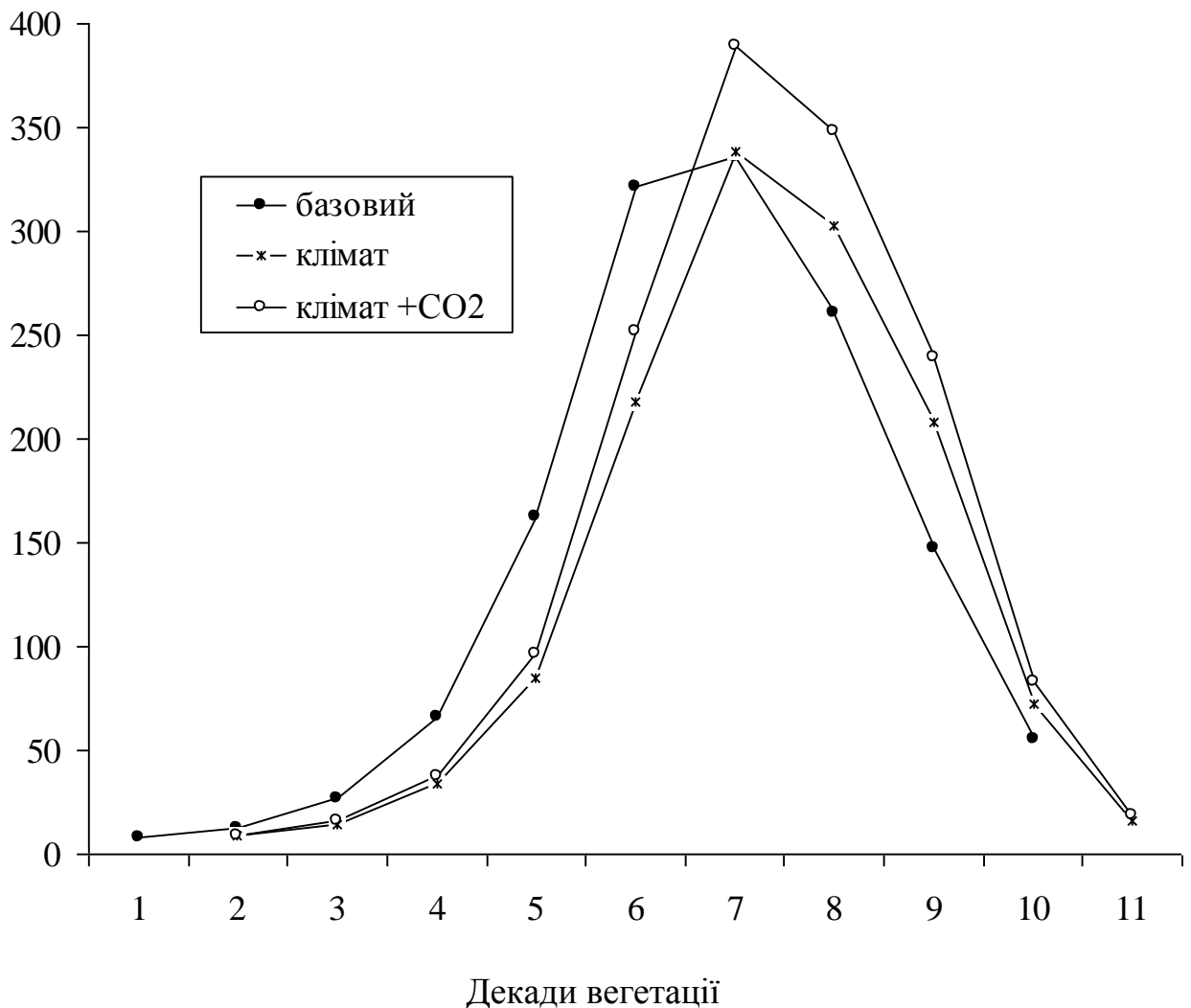


Рисунок 4.8 – Динаміка приростів загальної сухої біомаси озимої пшениці (ΔM) за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 (2012-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 рр.)



Розглянемо зміни, що спостерігаються в приростах загальної сухої біомаси рослини озимої пшениці (табл. 4.3). Так, максимальні значення приростів загальної сухої біомаси рослин за варіантом «клімат» становитимуть  $33,8 \text{ г/м}^2$  за добу (рис. 4.8). За варіантом «клімат +  $\text{CO}_2$ » максимальне значення приростів загальної сухої біомаси очікується на рівні  $38,9 \text{ г/м}^2$  за добу, в порівнянні із середнім багаторічним значенням, що становить  $32,1 \text{ г/м}^2$  за добу.

Все це призвело до відповідних змін у врожайності. Так, за умов реалізації сценарію по варіанту «клімат» очікується зменшення врожайності озимої пшениці на 15%, а за варіантом «клімат +  $\text{CO}_2$ » очікується зменшення врожайності на 2%.

Враховуючи реакцією рослин на підвищення  $\text{CO}_2$  в умовах зміни клімату в Західному Лісостепу, вважаємо доцільним рекомендувати використовувати сучасні сорти озимої пшениці, що більш стійки до затінення.

## ВИСНОВКИ

Сільське господарство є найбільш вразливою галуззю економіки України до коливань та змін клімату. Враховуючи інерційний характер сільського господарства та залежність його ефективності від погодних умов, уже зараз необхідне прийняття своєчасних та адекватних рішень щодо складних проблем, обумовлених змінами клімату. В зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря Північної півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур [10].

В результаті виконаної роботи можливо зробити наступні висновки:

1. Виконано аналіз сучасного стану досліджень біології культури озимої пшениці та агротехніки її вирощування в Західному Лісостепу на прикладі Вінницької області. Наведена характеристика сучасних сортів озимої пшениці, які районовані в Україні.

2. Для оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю озимої пшениці в умовах Західного Лісостепу була уточнена базова динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур А.М. Польового.

3. Визначено дати настання фаз розвитку озимої пшениці за базовими даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5. Так, за умов реалізації сценарію зміни клімату дата відновлення вегетації очікується на 11 днів пізніше, ніж за середніми багаторічними значеннями, але тривалість періоду не зміниться.

4. Аналіз агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці показав, що за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 (2012-2050 рр.) умови вегетації озимої пшениці в Західному Лісостепу будуть проходити на фоні знижених температур у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Очікується перерозподіл кількості опадів за міжфазні періоди вегетації озимої пшениці, що пов'язано з здвигом настання фаз розвитку культури.

5. Були розраховані показники фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці, це такі величини, як площа листя, чиста продуктивність фотосинтезу та приріст маси в період максимального розвитку рослини. Також розглядалась суха біомаса цілої рослини та врожай.

6. Розрахунки площі листя в період максимального розвитку показали, що в середньому за базовий період це значення становить  $3,95 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . За умов реалізації сценарію RCP4.5 (2012-2050 pp.) по варіанту «клімат» очікується збільшення площі листя до  $4,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , за варіантом «клімат +  $\text{CO}_2$ » очікується збільшення площі листя в порівнянні із її середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат» та становитиме  $4,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

7. Розрахунки чистої продуктивності фотосинтезу показав, що максимальні значення чистої продуктивності фотосинтезу посівів озимої пшениці за умов реалізації сценарію RCP4.5 (2012-2050 pp.) по варіанту «клімат» та «клімат +  $\text{CO}_2$ » очікуються в сьомій декаді та становитимуть 8,1 та  $8,4 \text{ г}/\text{м}^2$  відповідно, а за умов базового періоду в шостій декаді та становить  $9,0 \text{ г}/\text{м}^2$ . Значення чистої продуктивності фотосинтезу посівів озимої пшениці за умов реалізації сценарію RCP4.5 (2012-2050 pp.) по варіанту «клімат» та «клімат +  $\text{CO}_2$ » є зниженими у порівнянні з базовим періодом (1991-2010 pp.). Це пов'язано з реакцією рослин на підвищення  $\text{CO}_2$ , так через збільшення площі листя виникає конкуренція за світло, затінені нижнє листя активно використовують підвищену кількість асимілятів, синтезується рослинами озимої пшениці завдяки високому рівню  $\text{CO}_2$  в повітрі.

8. Розрахунки загальної сухої біомаси озимої пшениці показали, що за варіантом «клімат» значення загальної сухої біомаси озимої пшениці зменшиться до  $1279 \text{ г}/\text{м}^2$ . За варіантом «клімат +  $\text{CO}_2$ » очікується збільшення загальної сухої біомаси до  $1468 \text{ г}/\text{м}^2$  в порівнянні із її середнім багаторічним значенням ( $1342 \text{ г}/\text{м}^2$ ) і в порівнянні з варіантом «клімат».

9. Проведене дослідження виявило певні тенденції в можливих майбутніх змінах сезонних характеристик опадів та температур на території Західного Лісостепу. Все це, в свою чергу, призведе до відповідних змін у врожайності. Так, за умов реалізації сценарію по варіанту «клімат» очікується зменшення врожайності озимої пшениці на 15%, а за варіантом «клімат + CO<sub>2</sub>» очікується зменшення врожайності на 2%.

10. Враховуючи реакцією рослин на підвищення CO<sub>2</sub> в умовах зміни клімату в Західному Лісостепу, вважаємо доцільним рекомендувати використовувати сучасні сорти озимої пшениці, що більш стійки до затінення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агроклиматический атлас Украинской ССР / под ред. С.А. Сапожниковой. Киев: Урожай, 1964. 36 с.
2. Антоненко В.С. Параметризационная модель продуктивности озимой пшеницы с учетом радиационного и температурного режимов в посеве. Динамическое моделирование в агрометеорологии: доклады участников Всесоюзной школы молодых ученых и специалистов. Тбилиси, 22-29 ноября 1980 г. Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 100-105.
3. Антропогенные изменения климата / ред. М.И. Будыко. Ю.А. Израэля. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 405 с.
4. Букша И.Ф. Изменение климата и лесное хозяйство Украины. Львів : РВВ НЛТУ України. 2009. Вип. 7. С.11 – 17.
5. Витченко А.Н., Полевой А.Н. Методика агроэкологической оценки сельскохозяйственной продуктивности ландшафтов Белоруссии. Вестн. Белорусского ун-та. Сер.2. Хим. Биол. Геогр. 1986. №2. С.56-59.
6. Волощук В.М. Основні закономірності сучасного потепління клімату на території України і його екологічні наслідки. Україна та глобальні процеси: географічний вимір. Київ – Луцьк, 2003. Т.3. С. 202-208.
7. Говоркова В.А., Катцов В.М., Мелешко В.П., Павлова Т.В., Школьник И.М. Климат России в XXI веке. Часть 2. Оценка пригодности моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3 для расчетов будущих изменений климата России. Метеорология и гидрология. 2008. №8. С.5-19.
8. Гуляев Б.И., Рожко И.И., Рогаченко А.Д. Фотосинтез, продукционный процесс и продуктивность растений. Киев: Наук. думка, 1989. 152 с.
9. Історія міст і сіл Української РСР: Вінницька область. Київ: Головна редакція УРЕ АН УРСР. 1972. 630 с.
10. Клімат України / за ред. В.М. Липінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. Київ, Вид. Раєвського, 2003. -343с.

11. Коломейченко В.В. Растениеводство : учебник. / М.: Агробизнес, 2007. 600 с.
12. Костюкевич Т.К., Пансюк А.А. Агрометеорологічна оцінка умов вирощування озимої пшениці в Тернопільській області. Актуальні питання сучасної аграрної науки: матеріали V Міжнародної конференції (м. Умань, 15 листопада 2017 р.). Київ: Основа, 2017. С. 54-56.
13. Кошкин Е.И., Гатаулина Г.Г., Дьяков А.Б. Частная физиология полевых культур / под ред. Е.И. Кошкина. М.: КолосС, 2005. 344 с.
14. Кричак С.О. Региональное моделирование современного климата европейской территории России с помощью модели RegCM3. Метеорология и гидрология. 2008. №1. С.31-41.
15. Кумаков В.А., Березин Б.В., Евдокимова О.А. Продукционный процесс в посевах пшеницы. Саратов, 1994. 202 с.
16. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. Москва: Высшая школа. 1984. 240с.
17. Панасюк А.А. Моделювання процесу формування потенційної врожайності посівів озимої пшениці в Хмельницькій області. Конференція молодих вчених ОДЕКУ: матеріали конференції (м. Одеса, 2-8 травня, 2018р.). Електронне видання. 2018. С.37-38. URL: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/dlya-SAJTA-tezi-KMV-2018-r..pdf>.
18. Панасюк А.А., Костюкевич Т.К. Дослідження динаміки врожайності зерна озимої пшениці в умовах Хмельницької області. Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення: матеріали III Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених (м. Одеса, 21-23 березня). Одеса:ТЕС. 2018. С.68-69.
19. Панасюк А.А., Костюкевич Т.К. Оцінка впливу зміни клімату на формування фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці в Хмельницькій області. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених (м. Умань, 15-16 травня 2018 р.). Київ: «Основа», 2017. С. 45-46.

20. Панасюк А.А., Костюкєвич Т.К. Сучасні проблеми та переваги вирощування пшениці озимої в Хмельницької області. Збалансований розвиток агроєкосистем України: сучасний погляд та інновації: матеріали II Всеукраїнської наукової-практичної конференції (м. Полтава, 29 квітня 2018 р.). Полтава: ПДАА, 2018. С.56-58
21. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 318 с.
22. Полевой А.Н., Кульбида Н.И. Моделирование формирования урожая озимой пшеницы в период весенне-летней вегетации в Украине. Метеорология, климатология и гидрология. Одесса, 2001. № 43. С. 127-135.
23. Природа Украинской ССР. Климат. К.: Наукова думка, 1984. 232 с.
24. Росс Ю.К. Система уравнений для количественного роста растений: фитоактинометрические исследования растительного покрова. Таллин: Валгус, 1967. С.64-88.
25. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник. Одеса: Екологія, 2013. 204 с.
26. Стасик О.О. Лімітуючі чинники фотосинтетичної асиміляції CO<sub>2</sub> в двох контрастних за продуктивністю сортів озимої пшениці. Вісн. Укр. т-ва генетиків і селекціонерів. 2008. № 1. С.145-149.
27. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 264с.
28. Фізіологія рослин: підр. для вузів III-IV рівня акр. / М.М. Макрушин, Є.М. Макрушина, Н.В. Петерсон, М.М. Мельников; за ред. М.М. Макрушина. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с.
29. Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур / пер. с чеш. З.К. Благовещенской. М. : Колос, 1984. 367 с.
30. ШигOLEV А.А. Методика составления фенологических прогнозов: сб. методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. Л.: Гидрометеиздат, 1957, С. 5-18.

31. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change / N. Nakićenović [et al.] / Special Report on Emission Scenarios. Cambridge University Press, 2000. 599 p.
32. Climate Change 2013: The Physical Science Basis / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor [et al.] / Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
33. Corobov, R., Sheridan, S., Overcenko, A. and N. Terinte. Air temperature trends and extremes in Chisinau (Moldova) as evidence of climate change / Clim. Res. 2010. Vol.42. p. 247–256.
34. Dixon B.L. Estimating Corn Yield Response Models to Predict Impacts of Climate Change / B.L. Dixon, S.E. Hollinger, P. Garcia, V. Tirupattur / Journal of Agricultural and Resource Economics. 1994. № 19. P.58-68.
35. Thompson L.M. Weather and Technology in the Production of Corn and Soybeans. Center for Agricultural and Rural Development. Iowa State University. 1963. Report № 17.
36. Балабух В.О. Зміна інтенсивності конвекції в Україні: причини та наслідки. URL: <http://meteo.gov.ua/files/content/docs/Vinnitsa/UkrGMI.pdf>. (дата звернення: 20.04.2018р.)
37. Державна служба статистики України. Сайт Державного департаменту статистики України. Сільське господарство. Рослинництво. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 2.12.2018р.)
38. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2018 рік. Державна ветеринарна та фіто санітарна служба України. URL:[www.vet.gov.ua](http://www.vet.gov.ua).(дата звернення 18.04.2018р.)
39. ТОП-рейтинг сортів озимий пшениці у українських аграрієв. URL: <https://mresearcher.com/2018/03/top-rejting-sortov-ozimoy-pshenitsy-u-ukrainskih-agrarijev.html>. (дата звернення: 12.12.2018).
40. Лучшие сорта озимой пшеницы. URL: <https://farmerok.info/sorta-ozimoy-pshenitsy>. (дата звернення: 12.12.2018).



41. Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні. URL: <http://ukrgeojournal>. (дата звернення: 20.04.2018).