

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

**Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність
ярого ячменю в Житомирській області**

Виконав студент 2 курсу групи МАЕ-60
спеціальності 101 «Екологія».

(шифр і назва)

Освітня програма Агроекологія

(назва)

Колун Андрій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н., доцент

Барсукова Олена Анатоліївна

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

Консультант _____

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

Рецензент к.геогр.н., доцент

Романчук Марина Євгенівна

(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 агрометеорологічних прогнозів
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 101 «Екологія»
(шифр і назва)
Освітня програма Агрометеорологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів**
Польовий А.М.
26 березня 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Колону Андрію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю в Житомирській області
керівник роботи Барсукова Олена Анатоліївна, к.геогр.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 2 » листопада 2017 року № 321-С
2. Строк подання студентом роботи 01 червня 2018 року
3. Вихідні дані до роботи Матеріали середньобагаторічних метеорологічних, агрометеорологічних та фенологічних спостережень за яровим ячменем мережі агрометстанцій Житомирської області. Метеорологічні дані за сценаріями А2 та А1В моделі зміни клімату MPI-M-REMO.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості Житомирської області; вивчити біологічні особливості ярого ячменю; оцінити агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю на досліджуваній території за періоди 1986 – 2005, 2011-2030, 2031-2050 рр.
За допомогою моделі формування продуктивності ярого ячменю провести чисельні розрахунки фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за кліматичними сценаріями А2, А1В у Житомирській області
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графіки динаміки загальної сухої біомаси ярого

Графіки динаміки відносної площі листя посіву ярого ячменю

Графіки динаміки чистої фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 березня 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. Ознайомлення з фізико-географічними особливостями території дослідження. Біологічні особливості ярого ячменю та їх вимоги до навколишнього середовища. Підготовка банку даних.	26.03.2018 р. – 10.04.2018р.	92	5(відмінно)
2	Вивчення алгоритму динамічної моделі продуктивності сільськогосподарських культур, проведення розрахунків	10.04.2018р.- 29.04.2018р.	92	5(відмінно)
3	Рубіжна атестація	30.04.2018 р.-- 06.05.2018 р.	92	5(відмінно)
4	Виконання розрахунків, побудова графіків, таблиць. Аналіз отриманих результатів, написання основного тексту роботи	07.05.2018 р. - 17.05.2018 р.	92	5(відмінно)
5	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.	18.05.2018 р. - 30.05.2018 р	94	5(відмінно)
6	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту	31.05.2018 р.-- 01.06.2018 р.	90	5(відмінно)
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		92	5(відмінно)

Студент

(підпис)

Колун А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Барсукова О.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота виконана Колуном Андрієм Олександровичем на тему «Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю в Житомирській області» є актуальною, оскільки за обсягом використання його продукції в народному господарстві він є, насамперед, однією з цінних зернофуражних культур, частка якої в балансі концентрованих кормів є значною. Тому дуже важливо правильно оцінити вплив кліматичних змін на дану культуру.

Метою кваліфікаційної роботи є оцінка продуктивності ярого ячменю в Житомирській області за умов зміни клімату.

Перед виконавцем стояли такі задачі:

1. Ознайомитися з фізико-географічними особливостями Житомирської області.

2. Вивчити біологічні особливості культури і особливості технологій її вирощування;

3. Вивчити динамічну модель формування продуктивності сільськогосподарських культур та створити масив інформації (середньобагаторічної та за обраним сценарієм зміни клімату) для виконання розрахунків.

4. Оцінити умови вирощування ярого ячменю в умовах змін клімату.

Об'єктами дослідження виступають агрометеорологічні умови вирощування ярого ячменю та природні умови Житомирської області.

Предметом дослідження є особливості агрометеорологічних умов та природних умов території Житомирської області.

Для виконання розрахунків та порівняння результатів використовувалась математична модель продукційного процесу ярого ячменю.

Досліджено формування продуктивності ярого ячменю, надана оцінка коливання врожайності ярого ячменю на сільськогосподарських угіддях Житомирської області в умовах зміни клімату.

Отримані результати можуть бути використані в сільському господарстві України, оцінка агрометеорологічних умов вирощування ярого ячменю дає змогу оцінити технологію вирощування культури в залежності від сорту, кліматичної зони, інвестиційних можливостей.

Структура і обсяг роботи: 87 сторінок, 9 рисунків, 6 таблиць, 32 літературних джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: яровий ячмінь, агрокліматичні умови, зміна клімату, терміни сівби, площа листя, чиста продуктивність фотосинтезу, приріст, біомаса, фотосинтетичний потенціал.

SUMMARY

Master's qualifying work thesis was by A. Kolun on the topic "Modeling the impact of climate change on the productivity of spring barley in Zhytomyr region" is relevant as barley is one of the most valuable among grain crops, whose share in the balance of concentrated feeds is significant. So it is extremely important to correctly assess the influence of climatic changes on this crop.

The purpose of the qualification thesis is to assess the productivity of spring barley in the Zhytomyr region in conditions of climate change.

Author faced the following tasks:

1. To get familiar with physical and geographic features of Zhytomyr region;
2. To study the biological peculiarities of culture and features of its cultivation technologies;
3. To study the dynamic model of the formation of productivity of crops and to create an array of information (medium-term and long-term, according to the chosen scenario of climate change) to perform the calculations.
4. Estimate conditions for the growth of spring barley in conditions of climate change.

Objects of study are agrometeorological conditions for growth of spring barley as well as natural conditions of Zhytomyr region.

As a subject of study act peculiarities of agrometeorological and natural conditions of Zhytomyr region.

A mathematical model of the production process of spring barley was used to perform calculations and compare the results.

The formation of productivity of spring barley was studied and the estimation of the volatility of spring barley on agricultural lands of Zhytomyr region in conditions of climate change was provided.

Results obtained in this study can be used in agriculture of Ukraine, estimation of agrometeorological conditions for the growth of spring barley enables to estimate the technology of cultivating culture depending on the variety, climatic zone, investment opportunities.

Structure and scope of work: 87 pages, 9 drawings, 6 tables, 32 sources.

KEYWORDS: spring barley, agroclimatic conditions, climate change, timing of sowing, leaf area, net productivity of photosynthesis, growth, biomass, photosynthetic potential.

ЗМІСТ

	Стр.
ВСТУП	7
1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Фізико-географічний опис прилеглої території.....	10
2. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ.....	15
2.1 Вимоги ярого ячменю до світла.....	15
2.2 Вимоги ярого ячменю до тепла	16
2.3 Вимоги ярого ячменю до вологи.....	16
2.4 Вимоги ярого ячменю до ґрунтів	17
2.5 Вимоги ярого ячменю до удобрення.....	18
2.6 Основні хвороби і шкідники ярого ячменю.....	19
2.7 Характеристика сортів ячменю ячменю	26
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ	31
3.1 Сучасний стан моделювання формування врожаю ярого ячменю	31
3.2 Моделювання впливу змін клімату на продуктивність ярого ячменю.....	41
3.3 Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву.....	43
3.4 Моделювання водного режиму рослинного покриву.....	46
3.5 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин.....	49
3.6 Моделювання росту рослин.....	51
4 СЦЕНАРІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МАЙБУТНЬОГО КЛІМАТУ.....	55
4.1 Сценарії можливих змін клімату.....	56

5 АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА УМОВ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ.....	62
5.1 Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю.....	62
ВИСНОВКИ	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	85

ВСТУП

Загострення світової продовольчої проблеми викликано не тільки високими темпами зростання населення у світі, які випереджають виробництво продуктів харчування, але й змінами клімату та посилення процесів опустелення, особливо на африканському континенті. На фоні цих змін скорочується ресурс орнопридатних земель, спостерігається збільшення використання зернових ресурсів на виробництво біоенергії. При темпах зростання населення у світі до 1,5 – 1,6 % у рік збільшення виробництва зерна знаходиться в межах лише 1,0 %. Все це створює певну напругу щодо перехідних запасів продовольства і зокрема зерна у світі.

Україна має високий природно-ресурсний потенціал агросфери і може забезпечувати не тільки національну, але й в значній мірі загальносвітову місію продовольчої безпеки. Отже сучасна продовольча ситуація у світі і прогнозовані зміни клімату вимагають об'єктивного аналізу та оцінки його впливу на стан основних агроресурсів та виробництво сільськогосподарської продукції, зокрема зерна, удосконалення стратегії і тактики формування таких високопродуктивних агроєкосистем [8, 14, 19].

Матеріали світової статистики показують, що сьогодні зміна клімату на планеті співпадає з періодом наростання продовольчого дефіциту в світовій спільноті. Дві нові обставини посилюють і раніше існуючу проблему із забезпечення населення продовольством. Перше, помітне підвищення рівня платоспроможного попиту на продукти в багатонаселених країнах – Індії та Китаї. Друге – розширення практики використання сільськогосподарських земель для виробництва біопалива. Ці дві важливі обставини в умовах скорочення світових запасів земельних угідь і невідновлюваних джерел енергії при раціональному регулюванні посівних площ ріпаку та соняшника (яке сьогодні, на жаль, недостатньо регулюється) створюють для України можливість стати одним із найбільших виробників сільськогосподарської

продукції. Це пов'язано з тим, що хоча основні площі орних земель України знаходяться в зонах нестійкого і недостатнього зволоження, зміни клімату для рослинництва, особливо вирощування озимих культур та ранніх ярих культур, цілком можливо, будуть скоріше позитивні, чим негативні [8,14, 19, 26].

Ярий ячмінь — високоврожайна культура. Врожайність інтенсивних сортів ярого ячменю часто більша, ніж інших зернових. Певною мірою пояснюється це тим, що вирощують ячмінь на кращих землях і після добрих попередників у сівозміні. У передових господарствах Тернопільської, Рівненської, Волинської і Львівської областей врожайність його становить 52 – 60 ц/га [5 - 12].

Ячмінь у культурі відомий давно. За 5000 років до н. е. його вирощували в Єгипті, Китаї та інших країнах. На території України він відомий за 3000 років до н. е.

За посівними площами і валовим збором зерна ячмінь займає четверте місце серед зернових культур. Загальна світова площа під цією культурою становить близько 60 млн га. Багато ячменю вирощують у США, Канаді, Індії, КНР, Іспанії, Франції та інших країнах. В Україні ярий ячмінь займає близько 2,5 – 3 млн га, вирощують його в усіх районах землеробства. У гірських районах Карпат дворядний ячмінь сіють на висоті 1000 – 1500 м над рівнем моря.

Хімічний склад зерна ячменю і його використання залежать від району вирощування й особливостей сорту. У вологіших північно-західних районах у зерні ячменю менше білка (11—13%) і більше крохмалю (58—60%), у південних і південно-східних районах білка у зерні більше (близько 17%), а крохмалю менше (50—55%) [5-12].

Метою моєї магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка продуктивності ярого ячменю в Житомирській області за умов зміни клімату.

Для виконання магістерської роботи використовувались матеріали спостережень за період з 1988 по 2005 роки за врожайністю ярого ячменю, фенологічні та метеорологічні спостереження по станціях Житомирської області та дані за сценарієм MPI-M-REMO зміни клімату.

1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Фізико-географічний опис прилеглої території.

Житомирська область на півночі межує з Білоруссю, на півдні – з Вінницькою, на заході з Рівненською та Хмельницькою, на сході – з Київською. Область має площу 30 тис. кв. км. Та лежить в двох фізико-географічних зонах – Поліссі та Лісостепу. Південна та південно-західна частина області розташовані на Волинсько - Подільському плато, мають помірно хвилястий трохи розчленований рельєф [1-3].

У ґрунтовому покриві поліської частини області переважають піщані дернові, слабо підзолисті ґрунти. Річкові долини та западини заболочені і вкриті торфовищами або торфово-болотними ґрунтами. На півдні області широкі плоскі зниження вкриті дерново-лучними ґрунтами.

Клімат Житомирської області помірно континентальний. Середня температура повітря за рік дорівнює 6 - 7° С, а по Житомиру – 7° С, але в окремі роки бувають значні відхилення [2].

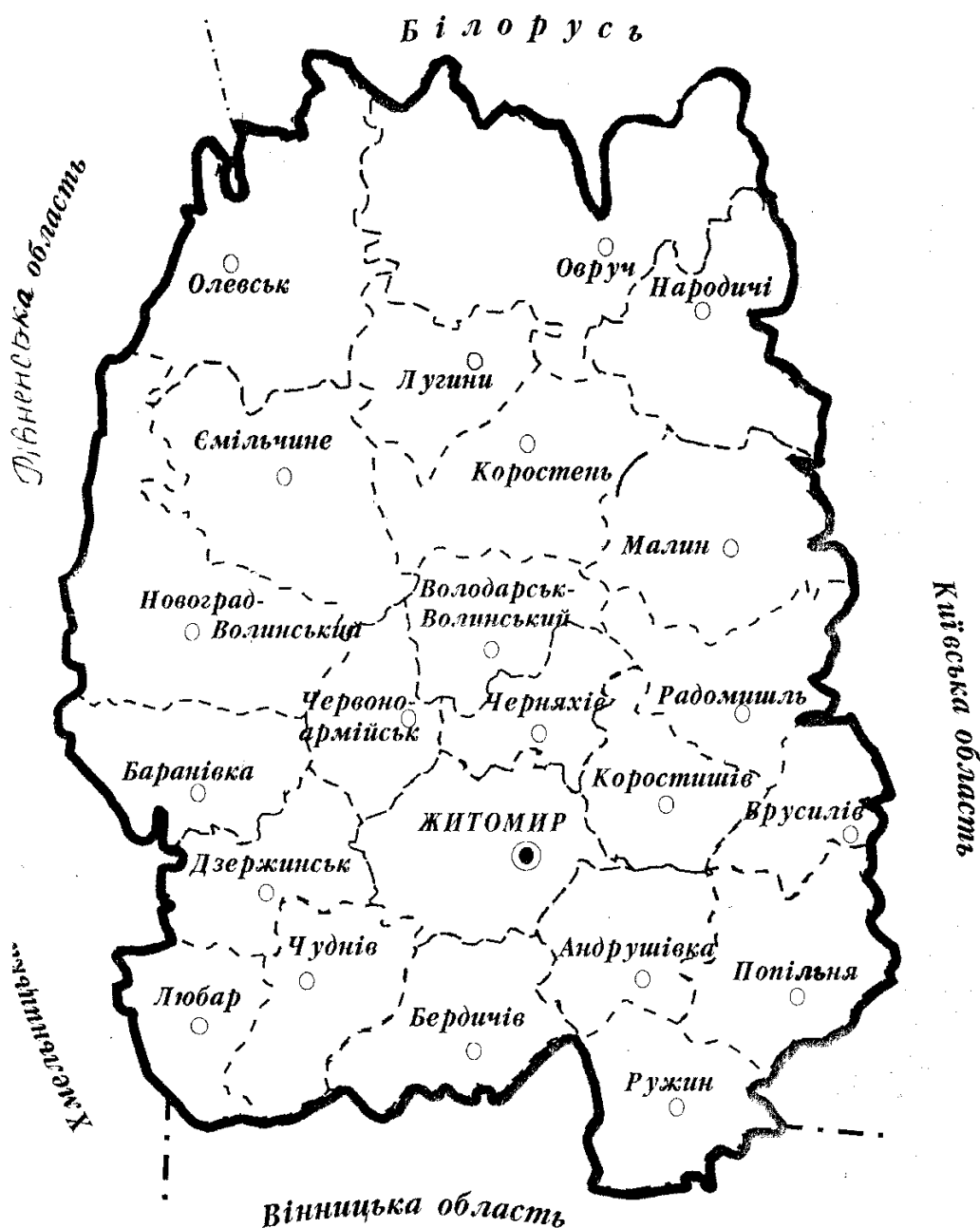
Середня багаторічна температура найтеплішого місяця – липня – дорівнює 17 - 19° С, а найхолоднішого – січня – 6° С.

Максимальна температура повітря по області влітку досягає 36-38°, мінімальна в найхолодніші зими -34, -35° С.

Опадів на території області випадає в середньому за рік 470 - 610 мм, з яких на період із середньою добовою температурою вище 10° С 310 – 370 мм.

Область поділена на агрокліматичні райони. В основу агрокліматичного районування області покладені вологозабезпеченість та термічні ресурси території у вегетаційний період. За показник термічного режиму взято суму температур за період з середньою температурою понад 10° С, а за показник вологозабезпеченості – гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за цей же період

(рис.1.1). За цими показниками область поділена на два агрокліматичні райони.



Риунок 1.1 – Агрокліматичне районування Житомирської області

Перший агрокліматичний район характеризується сумою активних температур більше 2400°C і ГТК – 1,5 – 1,6. Період з сумою температур вище 10°C становить 150 - 155 днів, сума опадів за цей період становить 350-

370мм, річна сума опадів становить 530 -610 мм. Середній із абсолютних річних мінімумів становить $-25, - 26^{\circ} \text{C}$. Без морозний період триває 160 - 165 днів. Весняні заморозки закінчуються в середньому в третій декаді квітня. Середня дата першого осіннього заморозку спостерігається в першій декаді жовтня.

Другий агрокліматичний район Житомирської області характеризується сумою активних температур $2400 - 2550^{\circ} \text{C}$, ГТК = 1,2 – 1,4. Тривалість вегетаційного періоду складає 155-160 днів, сума опадів за цей період становить 310-380мм. Сума опадів за рік – 470-600мм. Середній із абсолютних мінімумів за рік становить $-25, - 28^{\circ} \text{C}$, абсолютний мінімум за рік – 34, -35°C . Тривалість без морозного періоду становить 160-165 днів. Перші осінні заморозки починаються в першій декаді жовтня. Весняні заморозки в середньому закінчуються наприкінці квітня [1].

В області озима пшениця займає найбільші площі серед зернових культур. Основні посівні площі озимої пшениці займає лісостеповий район.

Кліматичні умови області сприятливі для вирощування озимих культур. Посіви своєчасних строків сівби здебільшого встигають розкущитися восени, задовільно зимують, а у весняно-літній період ріст і розвиток їх відбуваються добре. Винятком є окремі роки, коли внаслідок незадовільної зимівлі, а також несприятливих метеорологічних умов після відновлення вегетації спостерігається зрідження, а то й загибель озимих культур на значних площах. Значне зниження врожаю озимих культур спричиняють посушливо-суховійні явища, які найчастіше бувають у південно-східній половині області.

В області ґрунти характеризуються значною просторовою неоднорідністю. У нижченаведеній довідковій таблиці вміщено номенклатурний перелік основних типів ґрунтів, а також абсолютні і відносні показники загальної площі кожного типу ґрунту.

У північній частині області найбільшу площу займають дерново-підзолисті ґрунти легкого механічного складу. Ці ґрунти малородючі,

Тип ґрунту	Загальна площа	
	тис. га	%
Чорноземи глибокі, переважно на лесових породах	621,3	33,1
Опідзолені переважно на лесових породах	317	16,9
Дерново-підзолисті на давньоалювіальних, водно-льодовикових відкладеннях та лесових породах	293,4	15,6
Дернові	189,1	10,1
Болотні й торфово-болотні на різних породах	128,7	6,9
Лучно-чорноземні й лучні на різних породах	125	6,6
Чорноземи неглибокі, переважно на лесових породах	89,7	4,8
Дерново-підзолисті оглеєні на давньоалювіальних, водно-льодовикових відкладеннях	87,8	4,7
Опідзолені оглеєні, переважно на лесових породах	24,6	1,3
Разом	1876,6	100

характеризується низьким вмістом гумусу, кислою реакцією ґрунтового розчину, несталим водно-повітряним режимом, посиленою аерацією, низькою водоутримувальною здатністю. Дерново-підзолисті оглеєні ґрунти поширені на широких зниженнях у Поліській низовині та на другій терасі Дніпра.

Їх родючість дещо вища, ніж ґрунтів попередньої групи, однак для використання в сільськогосподарському виробництві необхідно застосовувати спеціальні заходи з окультурення. На території, розташованій на межі між Поліссям і Лісостепом, відрогам Придніпровської височини та на лесових стоянцях Поліської низовини поширені опідзолені ґрунти: чорноземи, сірі, світло-сірі і темно-сірі. Родючість ґрунтів цієї групи поступово зростає від світло-сірих до чорноземів опідзолених. Чорноземи неглибокі та реградовані залягають на широких слабохвилястих плато на півночі лісостепової частини області. Вони характеризуються нейстральною та слабкислою реакцією ґрунтового розчину, задовільними водно-

фізичними властивостями і мають достатню аерацію. Чорноземи глибокі поширені на вододільних плато в південній та лівобережній частинах області, їх фізико-хімічні й агрогідрологічні властивості досить сприятливі для розвитку сільськогосподарських культур. На лівобережжі Київщини на перших надзаплавних терасах річок і в широких долинах із неглибоким заляганням ґрунтових вод сформувалися лучно-чорноземні ґренти, які за морфологічними ознаками подібні до чорноземів, однак відрізняються від них оглеєдністю нижніх горизонтів. Вони характеризуються високим вмістом гумусу і поживних речовин [1-3].

Лучні ґрунти трапляються окремими масивами по всій території області і заплавах річок, на дні ярів і балок, а також на знижених терасових рівнях. Здебільшого вони використовуються під природні кормові угіддя — сіножаті і пасовища. У комплексі з лучними, а також із чорноземно-лучними і дерновими ґрунтами трапляються солончаки, солонці і солоді, родючість яких дуже низька.

Болотні і торфово-болотні ґрунти поширені по всій території області на заплавах річок та у глибоких зниженнях. Властивості неосушених ґрунтів даного типу незадовільні для сільськогосподарських культур, осушені ж ґрунти використовують під посіви багаторічних трав, кормових і ярих зернових культур.

В цілому агрокліматичні і ґрантові умови сприятливі для сільського господарства. Проте в окремі холодні малосніжні зими спостерігаються значні пошкодження озимих посівів через вимерзання взимку і вимокання навесні, а у весняно-літній період і інших сільськогосподарських культур несприятливими метеорологічними явищами – заморозками [1, 2].

2 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЯ

Ячмінь — найбільш скоростигла яра зернова культура, вегетаційній період якої складає 60-110 днів. Ярий ячмінь внаслідок недостатнього розвитку кореневої системи, короткого вегетаційного періоду, підвищених вимог до структури ґрунту є найбільш вимогливим серед зернових до попередника. Ярий ячмінь є важливою технічною, продовольчою і кормовою культурою. Зерно ячменю - концентрований корм для багатьох видів сільськогосподарських тварин, особливо цінний продукт для вигодовування свиней. Зерно ячменю містить у середньому 12,2 % білка, 77,2 % вуглеводів, 2,4 % жиру, до 3% зольних елементів і містить в 1 кг приблизно 1,2 кормових одиниць і 100 г перетравного протеїну. Білок цінний за амінокислотним складом, особливо за вмістом лізину та триптофану. Цінується у тваринництві як грубий корм солома ячменю, особливо сортів із гладенькими остюками [5-12, 15]. Ячмінь може вирощуватись також на сіно і на зелений корм разом в суміші із зернобобовими культурами. Ячмінь є важливою продовольчою культурою. Із зерна скловидного ячменю виробляють ячмінну та перлову крупи, у складі якої міститься 9 – 11% білка, 82 – 85% крохмалю. Борошно ячменю використовують як домішку до пшеничного або житнього борошна при випіканні хліба. Дворядні сорти ячменю використовують для виробництва пива.

2.1 Вимоги ярого ячменю до світла

За характером розвитку ярий ячмінь належить до рослин довгого світлового дня. Серед інших зернових ярих культур він є найбільш скоростиглою культурою, деякі сорти його дозрівають за 75 днів. Завдяки короткому вегетаційному періоду його успішно вирощують у північних районах СНД (у Заполяр'ї він практично є основною продовольчою

культурою). На півдні, південному заході, де світловий день коротший, вегетаційний період ячменю триває 105 — 115 днів [6-10].

2.2 Вимоги ярого ячменю до тепла

Ярий ячмінь - невимоглива до тепла рослина. Мінімальна температура проростання насіння 1-2 °С, оптимальна - 15-20 °С. Сходи витримують приморозки -3 - -4 °С, а іноді й до -6 °С. Біологічний мінімум для появи сходів 4-5 °С. Для швидкого розвитку кореневої системи, кушіння і формування колоса (від появи сходів до виходу в трубку) необхідна помірна температура в межах 12-20°C. Мінімальна температура для формування генеративних органів 10-12 °С. Оптимальна температура для росту і розвитку рослин у період вегетації 18°C [10-12].

Ячмінь характеризується найвищою серед ярих зернових стійкістю проти високої температури (запалу), легко витримуючи підвищення її до 38-40°C. За такої температури прорости ячменю не паралізуються впродовж 25-35 год., тоді як у ярої пшениці вже через 10-17 годин, а у вівса - навіть через 5 годин, настає їх параліч. Саме тому посіви ярого ячменю поширені у південних регіонах України.

2.3 Вимоги ярого ячменю до вологи

Ярий ячмінь серед хлібів першої групи найбільш посухостійкий і відзначається високопродуктивною витратою вологи на створення одиниці органічної речовини. Транспіраційний коефіцієнт ячменя 300-450. Ячмінь доволі економно витрачає воду, але через слабо розвинені корені весінню посуху ячмінь переносить погано. Він потребує зволоженого ґрунту протягом всього періоду вегетації. Запізнення з сівбою може спричинити недружну появу сходів і сповільнення розвитку рослин на наступних фазах

розвитку. Отже, сівбу проводять у ранні строки, як тільки дозволяє стан ґрунту. Критерієм початку сівби є стиглість ґрунту: коли досягається якісна його крихкість при обробітці. Ярий ячмінь необхідно висіяти впродовж 5-7 днів від настання фізичної стиглості ґрунту, або від першої можливості застосування ґрунтообробної техніки [10-11, 15].

Рання сівба дає можливість ефективно використати зимові запаси вологи в ґрунті, подовжити вегетаційний період. Надзвичайно важливо те, що рання сівба затримує перехід у генеративну фазу розвитку, що позитивно впливає на густоту продуктивних стебел і урожайність у рослин довгого світлового дня. При запізненні з сівбою рослини формують недостатньо розвинену кореневу систему, неефективно використовують вологу, формування репродуктивних органів припадає на несприятливі погодні умови [11, 15, 18].

У періоди вихід в трубку, колосіння, цвітіння і початку формування зерна ярий ячмінь вимогливий до вологи, але надлишок опадів за високих температур на багатих поживними речовинами ґрунтах викликає надмірне кушіння, інтенсивне наростання біомаси, що спричинює полягання. Ячмінь має високу повітряну посухостійкість, порівняно з пшеницею та вівсом, і більшу стійкість до високих температур і запалів.

2.4 Вимоги ярого ячменю до ґрунтів

Ярий ячмінь має слаборозвинену кореневу систему, тому гарно росте на родючих, добре забезпечених поживними легкодоступними речовинами ґрунтах. Вищі урожаї формуються на ґрунтах з високою водоутримуючою здатністю, нижчі - на ґрунтах, що погано зв'язують вологу.

На кислих ґрунтах навіть за високого рівня удобрення рослина не здатна засвоїти елементи живлення з ґрунту. Оптимальне рН ґрунту для ячменю - 6,0 - 7,3.

Ярий ячмінь є найбільш вимогливим серед зернових до попередника. У комплексі агротехнічних заходів, які забезпечують оптимальні умови для розвитку ячменю при інтенсивній технології вирощування, висівати його слід на родючих, чистих від бур'янів ґрунтах [9-2, 18].

У степовій зоні основним критерієм цінності попередника є запаси вологи, які залишаються в ґрунті. Менший урожай формується при сівбі ячменю після цукрового буряка, соняшника, які дуже висушують ґрунт. Найбільший урожай ячменю одержують при розміщенні ячменю після кукурудзи, пшениці, вівса.

2.5 Вимоги ярого ячменю до удобрення

Система удобрення ярого ячменя визначається в першу чергу попередниками. Він має цінну здатність якнайкраще використовувати післядію органічних і мінеральних добрив, що вносились під попередню культуру. Якщо ярий ячмінь висівається після добре удобрених просапних культур, під які внесено мінеральні добрива в межах $N_{80}P_{80}K_{80}$ - $N_{120}P_{120}K_{120}$ і 40-50 т/га гною, то безпосередньо під ячмінь добрива не вносять зовсім. На такому фоні ячмінь при відповідному догляді здатний формувати 40-50 ц/га зерна [9-12, 17].

Ячмінь дуже добре реагує на внесення добрив, особливо в умовах достатнього зволоження. Приріст урожаю від мінеральних добрив може досягати 15-20 ц/га. Щоб запобігти виляганню рослин, потрібно забезпечити правильне співвідношення поживних елементів - азоту, фосфору та калію.

Внесення фосфору збільшує кустистість рослин, запобігає виляганню, прискорює досягання, підвищує якість зерна. Норма внесення фосфору коливається в межах від 40 до 100 кг/га.

Внесення калію сприяє формуванню більш виповненого зерна, збільшує стійкість рослин до ураження хворобами, підвищує стійкість соломини до

вилягання, ячмінь краще витримує посуху. Норма внесення калію коливається від 60 до 120 кг/га. У роки з тривалою посухою, особливо в першій половині вегетації, підживлення ячменя азотом не призводить до збільшення врожаю зерна, а азот, що внесений восени, не вимивається на важких зв'язних ґрунтах і ефективно використовується рослинами у весняно-літній період вегетації [11].

2.6 Основні хвороби і шкідники ярого ячменю

Ячмінь уражається багатьма хворобами. Найбільш поширені борошниста роса, смугаста і сітчаста плямистість, іржа, кореневі гнилі, ринхоспоріоз та ін.

Летюча сажка (*Ustilago nuda* K.) руйнує всі елементи колоса. Проявляється зазвичай під час колосіння. Замість зерна утворюється безформна чорна спорова порошковидна маса. Збудник передається в період цвітіння повітряними течіями і зберігається в насінні. Тому дуже важливо своєчасно протруїти насіння.

Тверда сажка (*Ustilago hordei* K.) проявляється під час виходу колоса. Всі частини колоса, крім остюків, перетворюються в чорно-буру масу теліоспор, що склеєні у тверді грудки, для руйнування яких потрібні зусилля, в зв'язку з цим цю сажку часто називають кам'яною. Джерелом інфекції є заспорене зерно. Сучасні препарати для протруювання повністю захищають від цієї хвороби.

Борошниста роса (*Erisiphe graminis* Dc. f. *hordei* Em. Marchal) - білий наліт на різних частинах рослин. Розвивається і поширюється протягом усього вегетаційного періоду, але найбільш інтенсивно у фазі кушіння - виходу в трубку. Завдає великої шкоди озимому і ярому ячменю при ранньому ураженні, коли інфекція може поширитися навіть на верхні листки. Оптимальні умови для розвитку хвороби - температура 12-20°C і відносна

вологість повітря 70-100 %. Більшість фунгіцидів захищають рослини від ураження, особливо при використанні їх з профілактичною метою на початку поширення борошнистої роси.

Стеблова або лінійна іржа (*Puccinia graminis* Pers.) уражує стебло, листки, колоскові луски. Спочатку утворюються продовгуваті іржасті подушечки, що пізніше зливаються у видовжені лінії. При сильному ураженні формується щупле зерно, а недобір урожаю сягає 50-60 %.

Жовта іржа (*Puccinia striiformis* West) розвивається переважно на озимому ячмені при вологій і холодній погоді на початку літа. Симптоми ураження проявляються у вигляді блідо-жовтих смуг. Гриб зимує на посівах озимих, а навесні уражує ярий ячмінь. Уражені листки зменшують інтенсивність фотосинтезу, жовтіють і опадають, внаслідок чого формується щупле зерно. При сильному розвитку хвороби недобір урожаю досягає 15-20 % і більше [17, 21].

Карликова іржа (*Puccinia hordei* Offh). На яром ячмені проявляється зазвичай на початку молочної чи навіть воскової стиглості зерна, а на озимому ячмені сильніше розвивається на сходах. На листках утворюються дрібні, хаотично розміщені світло-жовті уредопустули. Порівняно з іншими видами карликова іржа менш шкідлива. Зниження врожаю в межах 3-7 %.

Темно-бура плямистість, темно-бурий гельмінтоспориоз (*Drechslera sorokiniana* Subram, *Bipolaris sorokiniana* Shoem, *Helminthosporium sativum* P.) в останні роки, поряд з борошнистою росою, найчастіше уражує посіви ярого ячменю. На листках появляються бурі сітчасті плями, які на пізніших фазах розвитку можуть охопити всю поверхню листкової пластинки. Може уражатися колос - колоскові луски буріють, зародковий кінець насінини чорніє або коричневіє. Крім надземних органів можливий негативний вплив на кореневу систему. Корінці темніють і загнивають, що призводить до пожовтіння і випадання рослин. Патоген темно-бурої плямистості одночасно є збудником кореневої гнилі. Втрати врожаю деколи досягають 30-40 %.

Сітчаста плямистість, сітчастий гельмінтоспоріоз. У рослин жовтіють кінчики листків, потім з'являються бурі плями з блідо-жовтою облямівкою, а також з поздовжніми і поперечними смугами, які утворюють сітчастий малюнок. У зв'язку з тим, що значна кількість інфекції гельмінтоспоріозів зберігається на стерні, необхідно дотримуватись чергування культур у сівозміні. Плями не зливаються. Посіви ячменю (особливо насінневі) необхідно розміщувати на відстані не менше 1 км від полів, де ця культура росла минулого року.

Смугаста плямистість, смугастий гельмінтоспоріоз, (*Drechslera graminea* Ito, *Helminthosporium gramineum* Rabenh.). Вражає ячмінь від початку сходів до досягання. Проявляється на листках у вигляді блідо - рожевих плям, що зливаються пізніше в смуги жовто-коричневого та блідо - сірого кольору, які по всій довжині мають розриви. Особливо сильно проявляється плямистість в період цвітіння і наливу зерна. Хвороба менше розвивається при внесенні фосфорних і калійних добрив та сильно прогресує, коли система удобрення складається тільки з підживлень азотом. Втрати врожаю можуть сягати 30%.

Кореневі гнилі - комплексне захворювання, що спричинюється, як і на пшениці, групою грибних патогенів (гельмінтоспоріоз, фузаріоз, офіобольоз, церкоспорельоз). Характерні ознаки хвороби - побуріння та гниль коріння, підземного міжвузля, вузла кушіння, основи стебла, плямистість листків, білостебелля і білоколосся, почорніння зародка насіння. Джерело інфекції фузаріозно - гельмінтоспоріозної кореневої гнилі - заражене насіння, рослинні рештки, ґрунт. Офіобольоз і церкоспорельоз зберігається на рослинних рештках.

Септоріоз (*Septoria hordei* Jacz) дуже поширений у вологі роки. Хвороба проявляється на листках та колосі у вигляді хаотично розміщених коричнево-фіолетових плям. На плямах добре видно дрібні чорні цятки - пікніди гриба. Джерело інфекції - рослинні рештки. Тому беззмінне вирощування зернових в останні роки дуже сприяло поширенню цієї хвороби. Проблема ще й у відсутності ефективних фунгіцидів (за винятком імпакт, бампер) для

запобігання септоріозу шляхом обприскування вегетуючих рослин. Тому захищати від цієї хвороби потрібно протруюванням насіння такими препаратами як байтан-універсал, вінцит, раксил та інші.

Фузаріоз колоса. Захворювання виникає у фазі колосіння та наливання зерна. Уражується колос, колосові лусочки, зерно. Колос стає рожевим, на лусочках з'являються блідо-рожеві або оранжево-червоні подушечки, які зливаються в суцільний наліт грибниці. Іноді червонуваті подушечки формуються і на зерні. Насіння набуває рожевого відтінку, стає щуплим.

У жарку суху погоду хвороба легко діагностується такими ознаками: уражені колосочки, частини колоса або весь колос біліють, а здорові органи зберігають зелене забарвлення. За вологої погоди на уражених частинах колоса з'являються дрібні чорні з синюватим відтінком крапки -- перитеції збудників хвороби.

Під час вегетації збудники поширюються за допомогою конідій. Сумчасте спороношення здебільшого формується на колосових лусочках у вигляді чорних крапок. Сумкоспори дозрівають і викидаються із сумок у середині літа, викликаючи первинне зараження рослин. На рослинних рештках у ґрунті окремі види патогенів здатні утворювати рожеві або темно-червоні склероції і хламідоспори.

Збудники хвороби забруднюють зерно мікотоксинами, роблячи його непридатним і навіть небезпечним для вживання у їжу або на корм тваринам. Шкідливість хвороби виявляється у тому, що в колосі формується щупле токсичне насіння. Зерно уражених рослин буває настільки легким, що під час обмолоту воно відвіюється. Уражене зерно або повністю втрачає схожість, або при його висіві у ґрунт формуються проростки з ознаками фузаріозної кореневої гнилі.

Проти хвороб (сажки, плямистості, кореневої гнилі тощо), джерелом інфекції яких є насіння, застосовують протруювання. Якщо хвороби (борошниста роса, офіобольоз, септоріоз, ринхоспоріоз) поширюються через

рослинні рештки, проводять обробіток ґрунту для знищення решток. Важливо дотримуватись чергування культур у сівозмінах.

Для боротьби з хворобами, що уражують рослини в період вегетації, посіви обприскують один-два рази фунгіцидами. Економічний поріг шкідливості для борошнистої роси, видів іржі, гелмінтоспориозної плямистості становить понад 1% ураження рослин, для септоріозу - 5%. Обробку зазвичай розпочинають на самому початку розвитку хвороби.

До найефективніших методів захисту ярого ячменя від шкідників (шведська і гесенська муха, хлібна п'явиця, смугаста блоха, злакова попелиця, клоп - шкідлива черепашка та ін.) належать сівозміна, оптимальні строки сівби та норми висіву, рання зяблева оранка, підбір стійких сортів.

Шкідники зернових колосових культур

Хлібна жужелиця — *Zabrus tenebrioides* G. Личинки цієї комахи та дорослі жуки різного віку перезимовують в ґрунті на глибині 20-40 см. Можуть перезимовувати і жуки. Живлення личинок навесні триває 5-7 тижнів. Жуки починають з'являтися у період формування зерна озимої пшениці та інших зернових, а масово – у фазі молочної стиглості зернових культур. У жаркі посушливі роки хлібна жужелиця ховається в ґрунт на глибину 10-50 см, де перебуває у стані літньої діапаузи. Яйця шкідники відкладають у серпні в ґрунт на глибину 5 см. Відродження личинок відбувається з кінця серпня до настання приморозків. Протягом літа розвивається одна генерація жужелиці [9].

Шведська муха ячмінна – *O. Pussila* Mg. Мають такі риси: зимують в стадії личинки або пупарія всередині пагонів озимих та диких злаків, заляльковуються навесні. Час льоту мух збігається із закінченням фази весняного кушення озимих – появою сходів ярих колосових. Після додаткового живлення на квітках самки відкладають яйця за або на колеоптиле, за піхви листків ярих колосових і кукурудзи. Через 5-10 днів виходять личинки. Виліт мух другої генерації збігається із фазою виколошування – цвітіння колосових.

Гессенська муха — *Mayetiola destructor* S. Зимують личинки у пупаріях на сходах озимих, падалиці та диких злаках. Залялькування відбувається навесні, а виліт мух припадає на кінець кушення – першу половину виходу в трубку озимих культур. Одразу після вильоту муха відкладає яйця (плодючість – 50-500 яєць) ланцюжком з верхнього боку листової пластинки озимих та ярих культур. Друга генерація комах літає в період колосіння – формування зерна і заселяє переважно ярі колосові культури, третя – розвивається на падалиці та диких злаках, четверта – на озимих і падалиці [9-12, 17, 21].

Клоп шкідлива черепашка – *Eurygaster integriceps* Put. Зимують дорослі клопи в лісах, лісосмугах під опалим листям та в підстилці. Масовий виліт з місць зимівлі відбувається при температурі вище плюс 18-19С, що збігається з фазою кушення або виходу в трубку озимої пшениці, а ярої – з фазою 3-4 листків. Тривалість розвитку личинок становить 20-50 днів, за цей період вони проходять п'ять віків. Через один-два тижні самки відкладають яйця в два рядки на стебла і листя хлібних злаків, бур'янів, а також в інші місця. Масове закінчення розвитку цієї комахи за часом збігається з періодом фази молочної і початком воскової стиглості колосових культур.

Злакова попелиця звичайна – *Schizaphis graminum* Rond. Життєвий цикл однодомний, протягом усього життя вони розмножуються на озимих і ярих злаках. Після того як яйця перезимують на листках сходів озимих, падалиці і дикорослих злаків, навесні з'являються личинки. Розмножується злакова попелиця партеногенетично, протягом вегетаційного періоду може розвиватися у 12 генераціях.

Велика злакова попелиця – *Sitobion avenae* F. Спосіб життя комахи такий самий, як і у попереднього виду, але на відміну від звичайної злакової попелиці, вона утворює колонії на колосі пшениці та інших злаків.

Черемхова попелиця – *Rhopalosiphon padi* L. Цикл розвитку попелиці дводомний. Зимують яйця в основі бруньки на верхівці пагінців черемхи. іноді – на глоді, яблуні, груші та інших деревах, але в цьому випадку

засновниці, що відроджуються весною, гинуть. На черемсі ж відбувається розвиток кількох весняних генерацій комахи. Навесні крилаті попелиці перелітають на злакові культури, особливо пшеницю та кукурудзу, де утворюють густі колонії по всій рослині. Восени самки-носії статевої генерації знову мігрують на черемху, де відбувається статевий цикл розвитку, і відкладають яйця, що зимують.

Пшеничний трипс – *Nauplothrips tritici* Kurd. Зимує личинка у поверхневому шарі ґрунту і на його поверхні під рослинними рештками. Навесні перетворюється в пронімфу, потім – на німфу. У фазу початку колосіння озимої пшениці з'являються дорослі трипси, які відкладають по 4-8 яєць спочатку за колосковими лусочками, а потім – зерном. У період воскової стиглості зерна личинки йдуть на зимівлю.

Хлібна смугаста блішка – *Phyllotreta vittula* R. Зимують жуки під опалим листям у лісах, лісосмугах, садах або у верхньому шарі ґрунту, з'являються на посівах зернових в квітні, де пошкоджують листя. Личинки живуть у ґрунті, живляться корінцями злаків і перегноєм. Самки відкладають яйця в ґрунт на глибину не більше 3 см. Молоді жуки з'являються на початку липня, вони живляться на посівах кукурудзи та дикорослих злаках, після збирання врожаю відлітають у місця зимівлі. Комахи мають одну генерацію.

П'явиця: червоногруда (звичайна) – *Oulema melanopus* L. Зимують жуки у ґрунті на глибині 3-5 см на полях, де вирощували зернові, та в лісосмугах. Навесні при температурі повітря понад плюс 9-10 °С (початок фази виходу озимих в трубку) комахи розлітаються переважно на крайові смуги ярих культур. Яйця відкладають ланцюгом на нижньому боці листків, через два тижні відроджуються личинки, які згодом вкриваються слизом. Розвиток личинок на озимій пшениці збігається з фазами прапорцевого листка і формування зерна, а на ячмені – від виходу рослин в трубку до початку воскової стиглості зерна. Шкідники заляльковуються у ґрунті, а через два тижні відроджуються молоді жуки. Ці комахи мають одну генерацію.

П'явиця синя — *O. lichenis* V. Шкідник відрізняється від червоногрудої п'явиці дещо меншими розмірами (тіло жука 3,5-4 мм завдовжки), синім забарвленням. За особливостями розмноження п'явиця синя подібна до червоногрудої.

Хлібні жуки – *Anisoplia*: –Жук-хрестоносець – *A. agricola* Poda.; Жук-кузька – *A. austriaca* H. Зимують личинки у ґрунті на глибині 35 – 40 см і більше. Залялькування відбувається наприкінці травня — початку червня у ґрунтових колисочках на глибині 10-15 см . Жуки після виходу з ґрунту заселяють посіви зернових колосових у фазі молочної та воскової стиглості зерна. Яйця самки відкладають у ґрунт на глибину 10-20 см, переважно на просапних культурах або на парах. Через 2-3 тижні виводяться личинки, які розвиваються протягом 22-25 місяців Цикл розвитку цих шкідників дворічний.

2.7 Характеристика сортів ярого ячменю

Селекцію ярого ячменю в країнах СНД ведуть багато науково-дослідних установ, розташованих в різних кліматичних зонах. Це дозволило створити високопродуктивні сорти до конкретних умов, що володіють рядом цінних властивостей, районують більше 90 сортів ярого ячменю. Нижче приведена коротка характеристика сортів, які виведені і районують в Україні.

Визначення різновидностей ячменю. Основні ознаки, за якими визначають різновидності ячменю, такі: забарвлення колоса (жовте, чорне), будова остюків (гладенькі, зазубрені, фуркатні), щільність колоса (щільний - понад 12 члеників на 4 см довжини стрижня колоса, нещільний - менше 11 члеників), плівчастість зерна (плівчасте або голе) [11].

Ячмінь Вакула. Цикл розвитку: ярий. Заявник СГІ. Різновидність - паллідум. Кущ прямостоячий, проміжні, листки не опушені, зелені. Колос шестирядний, середньої щільності (на 4 см колосового стрижня 10 - 11

члеників), середньої довжини (7 - 9 см), неламкий, слабо пониклий, прямокутної форми з переходом у ромбічну, солом'яно-жовтий. Остюки довгі – 14 - 18 см, злегка розлогі, тонкі, еластичні, слабо зазубрені, у верхній частині жовті, при обмолоті легко відділяються. Квіткова луска середньо зморшкувата, нервація добре виявлена, без зубчиків, перехід в остюк поступовий. Колоскова луска тоненька, ніжна, з рідкими волосками. Основна щетинка зерна коротка, довго волосяна. Висота рослин 65 - 75 см. Зернівка видовжено-овальна, розмір 13x14 мм, жовта, вирівняна. Маса 1000 насінин 45 г. Середньостиглий, дозріває за 80 днів.

Високий врожай завжди гарантований, якщо з весни склалися умови для нормального розвитку вузлової кореневої системи і в ґрунті є достатньо поживних речовин. Сорт придатний для вирощування в умовах посухи і підвищеної кислотності ґрунтів. За даними заявника рекомендується висівати за 100-відсоткової господарської придатності 4,5-5 млн/га насінин. Сорт має групову стійкість до сажкових хвороб, борошнистої роси, гельмінтоспоріозу. На державних сортодослідних станціях отримали середній врожай 48,5 ц/га, що на 8,7 відсотки більше стандартів. Потенційна можливість сорту 104 ц/га. Рекомендований для вирощування по зонах степу, лісостепу та полісся

Ячмінь Південний. Цикл розвитку: ярий. Стійкий до весняних заморозків. Сорт напівінтенсивного типу, пластичний. Борошнистою росою, бурою іржею, гельмінтоспоріозом уражується нижче стандартів. Виведений у Селекційно-генетичному інституті УААН методом схрещування. Різновидність нутанс. Форма куща прямостояча. Колос дворядний, злегка звужується до верхівки, середньої щільності (на 4 см колосового стрижня припадає 12 - 14 члеників), неламкий. Колосові луски середньої довжини, вузькі. Квіткові луски зморшкуваті, лінійно-ланцетні, тоненькі. Перехід квіткової луски в остюк поступовий. Основна щетинка довговолосиста. Середньостиглий, досягає за 76 - 84 дні. Стійкий до вилягання та осипання. Солома середньої довжини (63 – 73 см), міцна. Має підвищену стійкість до посухи. Краще стандартів використовує осадки другої половини вегетації. За

даними заявника, рекомендується висівати за 100 - відсоткової господарської придатності 4,5 - 5 млн/га насіння. Запізнення із сівбою на 5 - 10 днів призводить до недобору врожаю до 8 ц/га.

Здатний в умовах степу забезпечувати врожай 53 - 64 ц/га. Має відмінні круп`яні якості. Цінний. Білка має в зоні степу - 13,6 %, вихід крупи - 44,4%, високу вирівняність зерна - 97,3 %. Держкомісія України рекомендує вирощувати даний сорт у зонах степу та лісостепу.

Ячмінь Джерело. Цикл розвитку: ярий. Сорт напівінтенсивного типу, пластичний, стійкий до осипання. Стійкий до ураження борошнистою россою, бурою іржею; гельмінтоспориозом уражується слабо. Різновидність - медікум. Виведений в інституті рослинництва ім. В.Я. Юр`єва. Форма куща прямостояча. Колос дворядний, солом`яно-жовтий, нещільний (на 4 см колосового стрижня 10-11 члеників), довжина 6 - 9 см, слабо поникає, солом`яно-жовтого кольору, ромбічної форми. Остюки довгі (довші колоса в 1,5 рази), вгорі слабо зазубрені, зубчики розміщені з обох боків від основи до верху. Перехід квіткової луски в остюк поступовий, основна щетина довговолосиста. Квіткові луски зморшкуваті, лінійно - ланцетні, тоненькі. Зернівка еліптична, нижня частина трохи вкорочена і розширена, жовтого кольору, маса 1000 зерен – 42 – 49 г.

Середньостиглий, вегетаційний період 70 - 85 днів. Солома середньої довжини (73 - 75 см), міцна, стійка до вилягання. За даними науково-дослідних установ, рекомендується висівати за 100 - відсоткової господарської придатності 4,5 - 5 млн./га насінин. Запізнення з сівбою на 5-10 днів, призводить до недобору врожаю 2,3 - 7,1 ц/га [17].

На державних сортовипробувальних станціях та дільницях за роки випробування отримали урожай 39,5 - 39,9 ц/га, що на 5,2 - 8,1 відсотка більше національних стандартів. Потенційна можливість сорту 90 ц/га.

Відноситься до сортів пивоварного призначення. Білка має 10,7 – 12,0 відсотків, плівчастість 8 - 10, екстрактивних речовин - 78, крохмалю 58 - 60

відсотків. Держкомісія України рекомендує вирощувати даний сорт в зонах лісостепу і полісся.

Ячмінь Прерія. Національний стандарт з посухостійкості. Оригінатор. Селекційно - генетичний інститут УААН. Виключне право використання сорту передано АФ «Степова». Зона вирощування – степ. Колос дворядний, солом'яно - жовтий, остистий. Колос середньої довжини, не ламкий. Зерно пльовчне, пружне, подовжене. Маса 1000 зерен 50 - 60 грамів. Вегетаційний період 70 – 78 днів. Стійкий до полягання. Висока посухо- та спекостійкість. Сорт середньоранній, має міцну кореневу систему. Урожайність 53 – 60 ц/га

Ячмінь Бадьорий. Різновидність сорту – *submedicum*. Колос дворядний, солом'яно-жовтий, середньої довжини, нещільний (11,8 члеників на 4 см). Соломина середньої довжини (51,4-86,2 см), дуже міцна. Остюки солом'яно-жовті, довгі, зверху слабо зазубрені. Квіткові луски дрібнозморшкуваті, зі слабо вираженою нервацією, поступовим переходом в остюк. У сприятливому 1994 році зерно містило 10,60 % білка, 62,5 % крохмалю, 79,76 % екстрактивності, а тому має високі пивоварні якості. Екотип лісостеповий. Зерно еліптичне, жовте, пльовчасте.

Ячмінь Водограй. Різновидність *нутанс*. Апробаційні ознаки. Колос середньої довжини (8-10 см), середньої щільності (10 члеників на 4 см колосового стрижня), неламкий, солом'яно-жовтий, веретеноподібної форми, пониклий при дозріванні. Маса 1000 зерен 48-50 г.

Ячмінь Геліос. Сорт стійкий до вилягання, осипання та посухи. Придатний для поширення в зонах степу, лісостепу та полісся. Потенційна можливість сорту – 89 ц/га. Має хороші круп'яні якості. Сорт має групову стійкість до летючої сажки, борошнистої роси, смужкового гельмінтоспоріозу.

Ячмінь Еней. Сорт інтенсивного типу. Тип розвитку - дворучка (альтернативний). Високо адаптований для будь-яких умов вирощування, має підвищену посухостійкість. Добрі результати дає при внесенні повного мінерального живлення. Слабко уражується гельмінтоспоріозом і твердою

сажкою. В закладах експертизи за роки випробування отримали середній урожай 54,5 - 55,7 ц/га, що на 13,6 - 17,5 ц/га більше стандартів. Рекомендований для поширення в зонах степу, лісостепу та полісся.

Ячмінь Здобуток. Кущ напівпрямостоячий. Рослини середньої висоти, з похилим прапорцевим листком - середня кількість. Початок колосіння - середній. Вегетаційний період 92-98 днів. В закладах експертизи за роки випробування отримали середній урожай 49,4-54,5 ц/га, що на 10,1-14,9% більше стандартів. Стійкий щодо полягання та осипання. Добрі результати дає при внесенні повного мінерального живлення. Слабко уражується гельмінтоспориозом і твердою сажкою. Протруєння насіння перед сівбою Вітаваксом 200 ФФ забезпечує повний захист від хвороб. Добре адаптований до всіх природно - кліматичних умов України.

Ячмінь Командор. Різновидність - *нутанс*. Належить до сортів пивоварного призначення. Сорт стійкий щодо осипання та полягання. Білка містить 11 %. Плівчастість 7 - 8 %. Екстрактивних речовин 80,1% та крохмалю 45,8 %. Добра озерненість колоса (23 - 28 зерен у колосі), має високу кущистість та вирівняність стеблостою. Стійкий щодо борошнистої роси, карликової іржі, летючої та кам'яної сажки, гельмінтоспориозу.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

3.1 Сучасний стан моделювання формування врожаю ярого ячменю

В даний час розроблено вже досить багато довгоперіодних динамічних моделей різних сільськогосподарських культур, що дозволяють оцінити ріст рослини протягом вегетаційного періоду як результуючу основних фізіологічних процесів. При побудові багатьох довгоперіодних динамічних моделей використовуються методології, розроблені Россом, Тоомінгом [27], Торнлі [28], а також сформульовані цими авторами принципи моделювання ряду фізіологічних процесів.

Комплексна модель фотосинтезу була розроблена в роботах Ідсо [29], де функція фотосинтезу листа подається у вигляді $\Phi_L = \Phi_1(W)\Phi_2(c)\Phi_3(I) - \Phi_4(T_L - T_A)$, де Φ_1 – описує залежність фотосинтезу від вологості повітря і ґрунту, Φ_2 - від концентрації CO_2 , Φ_3 - від радіації та Φ_4 - від температури листа T_L . Для знаходження T_L було розв'язано рівняння теплового балансу листа з урахуванням енерго- і масообміну в системі рослина - атмосфера. У цій моделі детально врахована також орієнтація листя. Листя розділене на 11 класів - один клас для тіньових листків і десять класів для освітлених прямою сонячною радіацією листя за кутами нахилу. Для кожного класу було вирішено рівняння теплового балансу листа. Вперше знайдено динаміка денного фотосинтезу при різних умовах водного стресу.

Детальна модель енерго- і масообміну в системі рослина - атмосфера і продуктивності посіву SPAM наведена також в роботах Стюарта і Лемона [30], Аллена та ін. У цій моделі листя також розділені на класи за освітленням а фотосинтез листа враховується через формулу Шартъє. Вперше врахована залежність продихового опору від радіації. Детально враховані турбулентність, режим CO_2 посіву та опір прикордонного шару

листа γ_a . Модель добре співпадає з результатами експериментів на посіві кукурудзи, з її допомогою проведено велику кількість чисельних експериментів для визначення денного ходу фотосинтезу і з'ясування ролі радіації.

Аналогічна модель енерго- і масообміну та продуктивності посіву розроблена Гоудріаном. Модель добре співпадає з результатами польових експериментів на посіві кукурудзи. Вперше проведено дослідження чутливості моделі до виміру окремих її параметрів.

У роботах де Віта, Броувера і Пенінга де Вріза запропонована модель ELCROS. У цю модель введений фонд асимілятів, і ріст розглядається як незалежний процес.

Більш детально дихання, розподіл асимілятів, концентрація фонду вуглеводів і росту розглянуті в моделях Торнлі [28]. Ним вперше включений в модель фонд азоту як регулятор росту. Вперше комплексні довгоперіодні динамічні моделі були представлені в його роботах. В моделях Торнлі вперше введений водний потенціал листа ψ_L як фактор, що регулює продиховий опір, причому ψ_L сам визначається емпірично через водний потенціал ґрунту. Враховане темнове дихання окремих органів. Динаміка фонду асимілятів управляє ростом органів в денний і нічний час. Для моделювання росту введено біологічний час, який виражається через температурні суми.

Для зернових культур найбільш повно розроблена Галямінім та ін. модель ярої пшениці [13]. Фотосинтез листя, стебел і класів розглядається в моделі як функція ΦAP , температури повітря і вологості ґрунту. Для розрахунку динаміки біомаси окремих органів рослин і опису процесу формування асиміляційної поверхні запропонована відповідна система рівнянь. Розподіл асимілятів – напівемпіричних з урахуванням зміни співвідношення надземної і підземної біомаси залежно від особливостей мінерального живлення. Проведено чисельні експерименти при різних рівнях мінерального живлення і зволоження ґрунту.

В дещо іншому плані побудована модель ярої пшениці, яка розроблена в Нідерландах. Розраховується потенційна денна продуктивність всієї рослини на одиницю площі поверхні ґрунту в залежності від загальної потенційної продуктивності (у стандартних умовах) з урахуванням опорів листової поверхні парам води і CO_2 в реальних умовах. Потім розраховується накопичення сухої біомаси на підставі даних про продуктивність при оптимальному водопостачанні і співвідношенні фактичної і потенційної евапотранспірації. Модель представляє інтерес для оптимізації зв'язків між щільністю рослин в посіві, водопостачанням і продуктивністю і в районах зрошуваного землеробства.

У моделях ярого ячменю (СНД) для розрахунку приросту біомаси використане балансове рівняння; розподіл асимілянтів проведено згідно Россу. У другій із зазначених моделей зроблена спроба врахувати в моделі азотне живлення. Побудований досить повний ґрунтовий блок динаміки азотистих з'єднань, поглинання азоту регулюється виходячи з принципу оптимальних доз, введена поправка на постачання азоту в ростові функції. Проведені чисельні експерименти з моделлю.

Розроблена в Японії модель ярого ячменю також містить блоки фотосинтезу, дихання і розподілу асимілянтів (емпірична). У запропонованій А. І. Столяровим математичній моделі процесу формування врожаю озимої пшениці фотосинтетична продуктивність цієї культури розглядається як функція ΦA , вологості ґрунту, температури повітря, концентрації CO_2 , вмісту доступних форм азоту, фосфору і калію. Блок розподілу асимілянтів в моделі не представлений. Урожай зерна визначається емпірично по загальній біомасі.

У США розроблені дві моделі для озимої пшениці. У першій, призначеної для аридної зони, швидкість накопичення сухої біомаси розглядається прямо пропорційною вже наявній сухій біомасі з урахуванням зовнішніх факторів (температури, вологості ґрунту, вмісту азоту в ґрунті), введених у вигляді безрозмірних функцій. У другій моделі щоденне

накопичення сухої біомаси оцінюється за різницею між загальним фотосинтезом (як функції водопостачання та сонячної радіації) і денним і нічним диханням (як функції тривалості дня і температури).

Моделі формування врожаю озимої пшениці, озимого жита, ярої пшениці, ярого ячменю і вівса розроблені А.Н. Польовим і викладені в роботі [14 -17].

В Україні значні розробки щодо створення методів оцінки агрометеорологічних умов і прогнозування врожайності сільськогосподарських культур виконані в рамках створеного В.П. Дмитренко [16] наряду на основі запропонованої ним моделі врожайності сільськогосподарських культур.

У роботах В.С. Антоненко [4] і Н.І. Гойси запропонована параметризаційна модель формування врожаю озимої пшениці в Україні в період весняно - літньої вегетації. У подальшій роботі В.С. Антоненко запропонував динамічну модель росту, розвитку та формування продуктивності озимої пшениці, яка описує весь життєвий цикл культури, «від насіння до насіння». В основу моделі покладено базова динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських модифікацій за більш детального обліку впливу волого - температурного режиму на процес фотосинтезу і комплексної оцінки впливу на ріст і формування репродуктивних органів таких екстремальних явищ як посуха і суховії (за методом М.С. Кулика і І.А. Цубербіллер), полягання посівів (за методом О.Д. Пасечнюка), «стікання» зерна (за методом І.В. Свісюка).

У роботі А.М. Польового і М.І. Кульбіді [23] запропоноване моделювання формування врожаю озимої пшениці в період весняно - літньої вегетації в Україні.

Моделювання біомаси і врожайності зернових культур ячменю і вівсяних посівів за допомогою модель Sirius викладені в роботах. Механістичні моделі культур широко використовуються для моделювання реакції врожаю пшениці на навколишнє середовище. Водночас, було лише

кілька спроб моделювання поведінки ячменю чи вівса за допомогою моделей симуляції врожаю. У цьому дослідженні використовується модель Sirius для імітації ячменю і вівсяних культур різних строків сівби за добрих умов вирощування. Моделювання було проведене з використанням моделі врожайності Sirius, яка спочатку призначалася для пшениці, але має механістичні рамки, які досить стійкі, щоб бути застосованими до інших помірних злаків. Метою даного дослідження була перевірка процесів, що діють в рамках моделі, а не просто застосування її для прогнозування кінцевої врожайності. Таким чином, були обрані набори даних включають інтенсивні вимірювання індексу площі листя (ІПЛ), біомаси і врожайності зернових всередині сезонів.

За останнє десятиліття стався величезний стрибок у галузі математичного моделювання і чисельного моделювання в областях, пов'язаних з гідродинамікою та тепло - і масообмінах. Він викликаний все більш широким використанням потужних, недорогих цифрових комп'ютерів. Подальші зусилля повинні бути спрямовані на розробку комп'ютерних програм, які можуть бути використані користувачами, які мають хороші обчислювальні навички. Була розроблена комп'ютерна програма для симуляції неврівноваженої математичної моделі для сушки ячменю зі статичною глибокою основою. Модель складається з набору з чотирьох нелінійних диференціальних рівнянь, виведених з масових і енергетичних балансів і рівняння теплопередачі в сукупності з відповідним рівнянням дифузії. Було розроблене точкове моделювання виробництва ячменю з використанням імітаційної моделі росту сільськогосподарських культур *WOFOST*. *WOFOST* є однією імітаційних моделей росту сільськогосподарських культур, які використовуються для сприяння процесам прийняття рішень у сільському господарстві та навчанні. У цій роботі, проведене калібрування та валідація моделі *WOFOST* для ячменю (сорт Karoon dar Kavir) на основі досліджень на агрометеорологічних станціях в Каботар Абаді, Іран. Щороку реєструвалися фенологічні фази,

дати зрошення, умови росту сільськогосподарських культур, загальне виробництво і врожайність зернових. Однак в цьому дослідженні не всі необхідні дані для калібрування моделі були доступні. У процесі калібрування перші фенологічні фази були встановлені шляхом порівняння загальної суми тепла (в градусо - днях) від сходів до цвітіння і від цвітіння до дозрівання в різні роки. Дані про загальну у виробництві врожайність і зернових з експериментів в умовах нестачі води були використані для калібрування параметрів врожаю в потенційній виробничій ситуації. Це дало можливість проводити калібрування *WOFOST* на основі історичних та поточних досліджень в сільськогосподарських дослідних центрах, сільськогосподарських факультетах та агрометеорологічних станціях, якщо в їх спостереженнях фіксуються всі необхідні параметри [22].

Моделювання конкуренції між ячменем і вівсом при різних кліматах виконав Роберт Грант. Моделювання конкуренції між різними групами рослин в загальній екосистемі повинне бути засноване на моделюванні процесів, в яких ці популяції конкурують за світло, воду і поживні речовини. У математичній моделі екосистеми, представлений в даній роботі, кожна популяція рослин моделюється незалежно в рамках спільних для екосистеми ґрунтах та атмосфері. Вплив випромінювання розраховують виходячи з вертикального розподілу площі листа, розрахованого, в свою чергу, виходячи з подовження кожного з міжвузля, оболонок (для однодольних) або черешкових (для дводольних) і листа на кожному пагоні або гілці кожної популяції під загальним покривом. Доступ до води і поживних речовин визначається виходячи з вертикального розподілу довжини кореня і площі поверхні, розрахованих по подовженню первинних і вторинних кореневих осей кожної популяції через загальний профіль ґрунту. Чутливість модельованих втрат врожайності через конкуренцію з диким вівсом в умовах різного клімату порівнюється з літературними даними. Експертиза результатів моделювання привела до припущення , що чутливість до

конкуренції серед популяцій рослин визначається наявністю води, поживних речовин та інших екологічних ресурсів на місці дослідження [23].

Основною метою прогнозування виробництва ячменю є побудова моделі для планування і прогнозування виробництва ячменю, який є основним кормовим ресурсом в Йорданії. Він розглядається як друга основна сільськогосподарська культура на богарних територіях Йорданії, і основний концентрований корм для дрібних жуйних тварин протягом усього року. Крім того, моделі прогнозування будуються для основних районів виробництва ячменю. В якості змінних, що впливають на виробництво ячменю в Йорданії, були взяті місячні суми опадів, місячні температури, середні закупівельні ціни ячменю в попередньому сезоні і посівні площі ячменю. Чотири множинні лінійні регресійні моделі були оцінені для кожного району і для країни в цілому. Ця оцінка була заснована на даних про суму опадів в період вегетації за січень, лютий, березень і квітень. Результати аналізу показали, що опади були найбільш значним обмежуючим фактором у збільшенні виробництва ячменю. Один додатковим міліметр опадів у січні збільшить виробництво ячменю на 156 тонн. Також вказується, що температура в січні позитивно впливає на збільшення виробництва ячменю, але в лютому, березні і квітні вплив уже негативний. Політика держави в сфері ціноутворення на ячмінь відіграє важливу роль у збільшенні виробництва ячменю.

У роботах Р.П. Елліс і Б. Маршалла запропонована модель росту, врожайності і якості зерна ячменю (*Hordeum vulgare* L.) в залежності від поглинання азоту [22].

Для вивчення впливу надходження азоту на розвиток рослин та схожості насіння була використана споживна система ячменю. Два контрастних сорти ячменю вирощувались протягом двох сезонів з оптимальним рівнем азоту і з третиною від норми. Зрілі зерна витягли з класів за положенням зерен; зберігали до виходу зі сплячки, зважили, і заміряли час від набухання до проростання для різних позицій у колосі. Паралельний набір зразків

аналізували на концентрацію азоту в зернах. Систематичне збільшення часу проростання спостерігалось від нижньої частини до верхньої частини колоса. Цей ефект поєднувався і був того ж порядку, що і вплив розміру зерна на час проростання. Незважаючи на те, що були значні варіації в концентрації азоту в залежності від положення зерен позиції, вони були менш виражені, ніж варіації ваги зерен в колосі і не були пов'язані зі схожістю зерна. Ці результати розглядаються в контексті з розвитком рослин на початку проростання.

У моделі врожайності ярого ячменю в різних кліматичних зонах Північної і Центральної Європи запропоноване порівняння дев'яти моделей культури. У цьому дослідженні, продуктивність дев'яти широко використовуваних і доступних імітаційних моделей росту сільськогосподарських культур (APES - ACE, CROPSYST, DAISY, DSSAT - CERES, FASSET, HERMES, MONICA, STICS і WOFOST) порівнюються протягом 44 вегетаційних періодів ярого ячменю в семи місцях в Північній і Центральній Європі. Метою цього порівняння моделей було вивчення того, як різні моделі засновані на різних процесах діють в різних місцях по всій Європі при мінімумі інформації для калібрування моделі ярого ячменю [25].

Була розроблена за методом компоненти врожайності імітаційна модель формування врожаю ячменю, яка може застосовуватися для різних сортів ячменю в різних областях. Процес створення моделі був наступним. З компонентами врожайності різних сортів за оптимальних умов в Ухані, Янчжоу, Куньміні в якості підстав, були розроблені рівняння регресії відносного значення впливу класів на рослину, зерен в колосках, і ваги тисячі зерен з накопиченою фотосинтетичною ефективністю, і були сформовані функціональні відносини між колоссям і рослиною, зернами в колосках, вагою тисячі зерен в реальних умовах, а також їх потенційними значеннями при оптимальних умовах, змінним режимом вологості ґрунту і вмісту поживних речовин в реальних умовах. Модель більш всебічно розглядає внутрішні і зовнішні чинники зростання і розвитку ячменю.

Прогнозування врожайності в Швеції на основі аналізу метеорологічної мезомасштабної циркуляції запропоноване Валентином Л. Фольтеску. В цій роботі запропоновану систему рівнянь для прогнозування регіонального росту сільськогосподарських культур в Швеції. Система включає в себе впроваджену модель росту сільськогосподарських культур, і вихідні дані, отримані за допомогою метеорологічної мезомасштабної інформації. Модельовані культури - ярий ячмінь, ярий ріпак, овес і озима пшениця, а період дослідження 1985-98. Змодельований урожай в умовах обмежених водних ресурсів використовується як орієнтир у процедурі передбачення врожайності. Також пояснюються технологічні тенденції до щорічного збільшення рівня виробництва.

Розроблена модель CropSyst для прогнозування врожайності ячменю в умовах зміни клімату в Єгипті. Модель CropSyst була відкалібрована і перевірена з використанням польових даних про зерно ячменю, біологічну урожайність та споживче використання (CU), отриманих з експерименту з дворічним полем, проведеного в 2007/ 08 і 2008 / 09 рр.. в герцогстві Ель-Калубія, Південна Дельта, Єгипет. Були посаджені шість сортів ячменю. В цій роботі було визначено параметри, які можуть бути використані в якості індикаторів стабільності врожаю ячменю, що може бути корисно в стресових умовах зміни клімату. Результати точного прогнозування за допомогою моделі CropSyst врожайності ячменю та CU показали, що модель може бути використана для достовірного передбачення впливу реструктуризації зрошення на врожайність.

Вибір моделі врожайності ячменю за допомогою теоретико - інформаційних критеріїв запропонований Марі Жазенюк, Марк Л. Тапер, Ніколь С. Вагнер, Роберт Н. Стоугард, Моніка Брелсфорд, і Брюс Д. Максвелл [31].

Емпіричні моделі конкуренції культур і бур'янів є невід'ємними компонентами біоекономічних моделей, які залежать від прогнозів впливу бур'янів на врожайність сільськогосподарських культур та для розробки

економічно ефективних рекомендацій боротьби з бур'янами. Відбір кращих емпіричних моделей для конкретної системи культури і бур'янів не простий. Ми використовували теоретико-інформаційні критерії, які дозволяють визначити модель, яка найкращим чином описує врожайності ячменю на основі даних конкуренції між ячменем і вівсюгом отриманих у ході експериментів, проведених у трьох місцях в штаті Монтана протягом 2 років. Кожен експеримент складався з повної серії, виконаної у вигляді рандомізованих блоків з трьома реплікаціями. Ячмінь був посаджений в 0, 0,5, 1, і 2 локально запропонованих нормах висіву. Вівсюг був посаджений як цільове зараження щільністю 0, 10, 40, 160 і 400 рослин на $M - 2$. Двадцять п'ять моделей - кандидатів були використані для опису даних з кожного місця і року з використанням оцінки максимальної правдоподібності.

Була розроблена і використана імітаційна модель врожаю ячменю для оцінки стратегій управління виробництвом його на північному сході Австралії. Було проведено дослідження для виявлення кращої стратегії управління для ячменю (*Hordeum vulgare* L.), зокрема, в залежності від часу посадки, розташування, і ризику заморозків в змінному кліматі на північному сході Австралії. Для досягнення цієї мети, була побудована стимуляційна модель росту сільськогосподарських культур (Q_{bar}) побудована для інтеграції даних, накопичених в ході польових експериментів, у сфері динаміки вирощування сільськогосподарських культур під впливом вологості ґрунту і чинників навколишнього середовища. Q_{bar} імітує ріст і врожайність ячменю, вирощеного при оптимальному рівні поживних речовин, в відсутність шкідників, хвороб і бур'янів. Генотипічні змінні були визначені для 4 сортів, часто вирощуваних у північних районах вирощування зернових. Симуляція проводилася з використанням довгострокових метеорологічних даних для генерації імовірнісної врожайності CV [32].

3.2 Моделювання впливу змін клімату на продуктивність ярого ячменю

Для розробки сценарію зміни клімату А2 та А1В з 2011 до 2050 рік використовувалась базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур А.М. Польового [19-27].

Структура моделі визначається виходячи з закономірностей формування гідрометеорологічного режиму у системі "грунт - 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.

Основні концептуальні положення такі:

- ріст і розвиток рослин визначається генотипом і чинниками зовнішнього середовища;
- моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу і поглинених елементів мінерального живлення з урахуванням потреб для росту в асимілятах надземної і підземної частин рослин;
- моделюються радіаційний, тепловий і водний режими системи грунт - рослина - атмосфера;
- моделюється трансформація форм азоту в ґрунті та азотне живлення рослин;
- моделюється гідроліз рослинної тканини при старінні рослин і в стресових умовах, а також перетік продуктів гідролізу з листя, стебел, коренів у репродуктивні органи;
- моделюється вплив агрометеорологічних умов в основні міжфазні періоди сільськогосподарських культур на формування урожаю, втрати урожаю за рахунок посухи, а для зернових колосових культур - полягання посівів і "стікання" зерна [21].

Модель складається з 8 блоків (рис. 3.1):

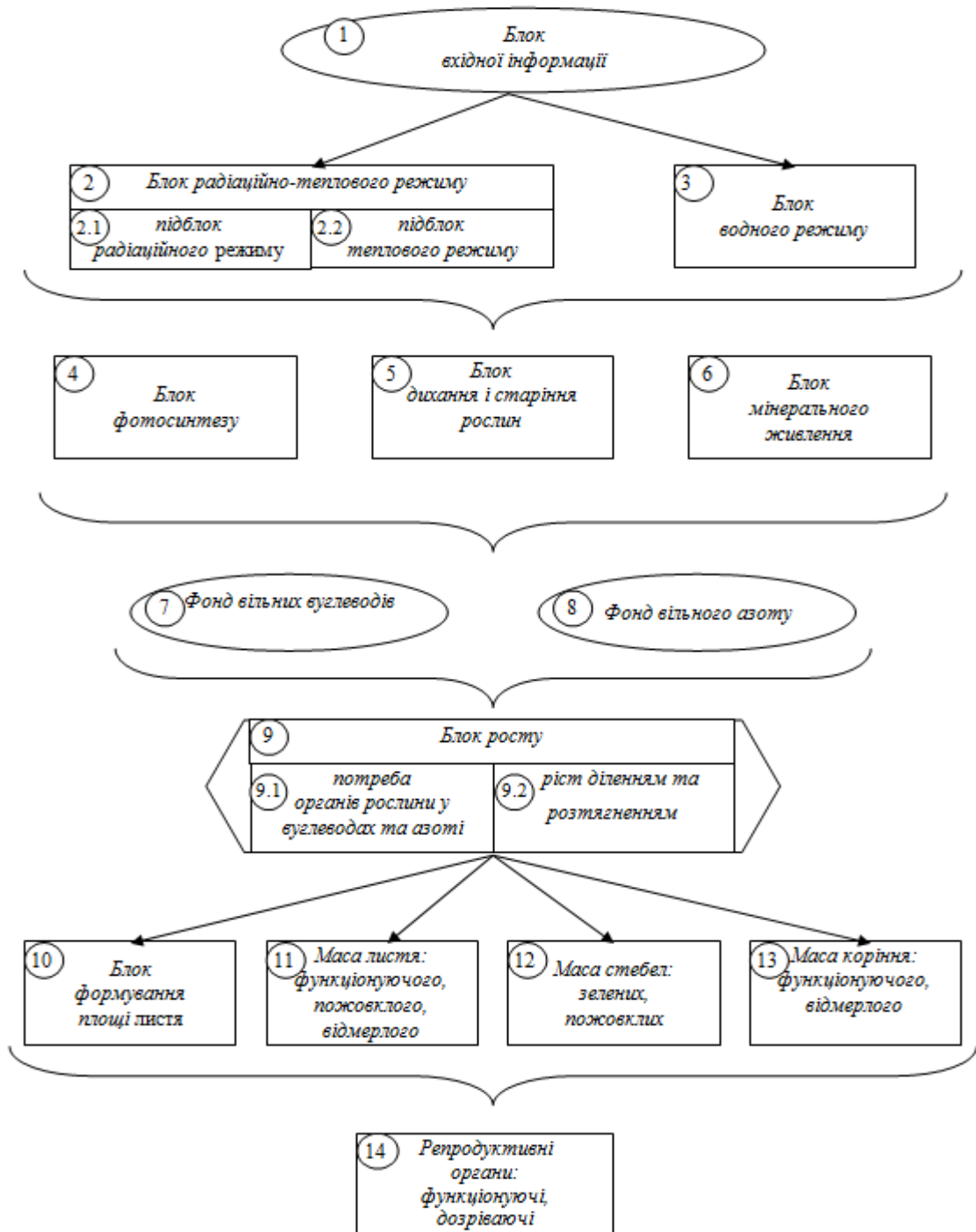


Рисунок 3.1 - Блок-схема базової динамічної моделі формування урожаю сільськогосподарських культур.

1. Блок вхідної інформації.
2. Блок радіаційно-теплого режиму рослинного покриву.
3. Блок водного режиму рослинного покриву.
4. Блок фотосинтезу.

5. Блок дихання і старіння рослин.
6. Блок росту (розподіл структуроутворюючих компонентів - вуглеводів і азоту);
7. 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 i -х органів та їх окремих частин складається з двох компонентів - маси вуглеводів C 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} .

У моделі розглядається, що ґрунт має 12 шарів: 0-2см, 2-5 см, 5-10 см, 10-20 см і так далі через 10 см до глибини 100 см.

Моделюються потоки води і азоту у ґрунті, який розглядається одночасно як насичене та ненасичене вологою середовище.

Модель реалізовано в двох варіантах - з добовим кроком в часі та з декадним кроком [22, 25].

3.3 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;

α_{LS} і α_S - альbedo РП і поверхні ґрунту;

a_Q - функція пропускання сумарної радіації РП.

Альbedo рослинного покриву визначається за формулою

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

де

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

Альbedo 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 α_S - альbedo поверхні ґрунту;

α_S^{\max} , α_S^{\min} - альbedo 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 [29].

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

ε_L і ε_S - коефіцієнти сірості листя і ґрунту;

σ - 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;

ε_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

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

де $A_1 - A_6$ - константи;

τ - тривалість світлого часу доби, від сходу до заходу Сонця.

3.4 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 ψ - потенціал тиску ґрунтової вологи;

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

$K(\Theta)$ - гідравлічна провідність;

Θ - об'ємна вологість;

$S(\psi)$ - поглинання води кореннями;

t - час; z - вертикальна координата.

Як початка умова ($t = 0$) задається

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

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

- на поверхні ґрунту z_o (верхня межа)

$$P_s - E = -K \Theta \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \quad \text{при } P_s - E < J_{\max}; \quad (3.17)$$

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

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 Θ_{\max} .

Кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту, знаходиться як

$$P_s = P_o - P_L, \quad (3.18)$$

де P_o - кількість опадів, що випали;

P_L - кількість опадів, перехоплених рослинним покривом, яка залежить від величини листової поверхні

$$P_L = 0,2 L, \quad (3.19)$$

де L - відносна площа листової поверхні (листовий індекс).

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

$$S(\psi) = \alpha_s(\psi) S_{\max} / f_{\text{depth}}^{\text{root}} \quad (3.20)$$

приймаємо, що

$$S_{\max} = T_r, \quad (3.21)$$

де T_r - транспірація;

$f_{\text{depth}}^{\text{root}}$ - 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 Δ - нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря;

γ_{ef} - ефективна психрометрична постійна;

R_L - радіаційний баланс РП;

ET_{pot} - випаровуваність;

λ - 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;

ρ - густина повітря;

c_p - теплоємність повітря;

r_a - опір примежового шару.

Ефективна психрометрична постійна знаходиться за формулою

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

де γ - психрометрична постійна;

r_{st} - продиховий (устячковий) опір дифузії водяної пари для листа.

Опір примежового шару визначається за виразом

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

де d_o - висота шару витіснення;

z_o - висота шару шорсткості;

χ - 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

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

Рівень ґрунтових вод визначається за методом Шебеко:

$$H_{gr.w.}^{j+1} = H_{gr.w.}^j + \Delta H_{gr.w.}^j; \quad (3.28)$$

$$\Delta H_{gr.w.} = I_w / k_w \cdot 10 \quad (3.29)$$

або

$$\Delta H_{gr.w.} = -V_p / k_w \cdot 10, \quad (3.30)$$

де

$$I_w = W_n + P_o - ET_{opt} - W_{FC} \quad (3.31)$$

і величина V_p знаходиться як

$$0 \leq W_{PC} - (W_n + P_o - ET) \geq V_p \leq V_{max},$$

де $H_{gr.w.}$ - рівень ґрунтових вод;

I_w - інфільтрація;

V_p - розрахункове підживлення в зону аерації з ґрунтових вод;

W_n - початковий вміст вологи у ґрунті;

ET - сумарне випаровування;

V_{max} - максимально можливе підживлення в зону аерації з ґрунтових вод;

k_w - коефіцієнт водовіддачі.

3.5 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

$$\frac{dC_{lab}}{dt} = \Phi + C_{hydr} - R, \quad (3.32)$$

де C_{lab} - фонд вільних вуглеводів;

Φ - 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

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{1/\Phi_{pot}K_{\Phi}(N_{str}^L) + 1/a_C C_0 + 1/a_{\Phi}\Pi} \min\left\{\alpha_{\Phi}, \Psi_{\Phi}, \frac{ET}{ET_{pot}}\right\}, \quad (3.33)$$

де Φ_{pot} - інтенсивність потенційного фотосинтезу;

a_C - нахил вуглекислотної кривої фотосинтезу;

C_0 - концентрація CO_2 у повітрі;

a_{Φ} - нахил світлової кривої фотосинтезу;

Π - поглинена рослинним покривом фотосинтетично активна радіація;

α_{Φ} - онтогенетична крива фотосинтезу;

Ψ_{Φ} - температурна крива фотосинтезу;

$K_{\Phi}(N_{str}^L)$ - коефіцієнт забезпеченості рослин елементами мінерального живлення.

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 [4]:

$$\frac{dC}{dt} = K_{hydr}^0 K_{hydr}(T_a) K_{hydr}(W) \quad \text{при} \quad C_i \geq C_{icrit} \quad (3.34)$$

і

$$\frac{dC}{dt} = K_{hydr}^1 K_{hydr}(T_a) C_i K_{hydr}(W) \quad \text{при} \quad C_i < C_{icrit} \quad (3.35)$$

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_{crit} - 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

$$\frac{dR}{dt} = \alpha_R \left[C_G \frac{dm}{dt} + C_m m \varphi_R \right], \quad (3.36)$$

де C_G - коефіцієнт витрат на дихання росту;

C_m - коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

α_R - онтогенетична крива дихання;

dm/dt - приріст біомаси рослин;

m - маса рослин;

φ_R - температурна крива дихання.

3.6 Моделювання росту рослин

Динаміка біомаси надземної і підземної частин рослин та окремих органів визначається з врахуванням потреб цих частин рослин в асимілятах.

Приріст маси вуглеводів та азоту розподіляється між надземною і підземною частинами рослин за допомогою таких рівнянь:

$$\frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} = \left(-\beta_{root}^{mC(N)} \right) \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \quad (3.37)$$

$$\frac{dmC(N)_{root}}{dt} = \beta_{root}^{mC(N)} \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \quad (3.38)$$

де $mC(N)_{shoot}$ і $mC(N)_{root}$ - кількість відповідно вуглеводів і азоту у надземній і підземній частинах рослин;

$\beta_{root}^{mC(N)}$ - функції розподілу вуглеводів і азоту у підземну частину рослин.

Розподіл структуроутворюючих компонентів між надземними органами рослин та їх окремими частинами виконується за допомогою наступної системи рівнянь [29]:

$$\begin{aligned} \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} &= \beta_l^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v^{C(N)} mC(N)_{l_{func}}; \\ \frac{dmC(N)_{l_{yel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} < 0; \\ \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} &= \beta_{s_{gr}}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v^s mC(N)_{s_{gr}}; \\ \frac{dmC(N)_{s_{yel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} < 0; \\ \frac{dmC(N)_{p_{func}}}{dt} &= \beta_{p_{func}}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} + v^{C(N)} mC(N)_{l_{func}} + \\ &+ v_s mC(N)_{s_{gr}} + v_r mC(N)_{r_{func}}; \\ mC(N)_{prip} &= mC(N)_{pfunc} k_{prip}, \end{aligned} \quad (3.39)$$

де

$mC(N)_{l_{func}}, mC(N)_{l_{yel}}, mC(N)_{s_{gr}}, mC(N)_{s_{yel}}, mC(N)_{p_{func}}, mC(N)_{prip}$ - кількість вуглеводів і азоту відповідно у функціонуючих та поживклих листях, зелених та поживклих стеблах, функціонуючих та дозріваючих репродуктивних органах;

$\beta_l^{mC(N)}, \beta_{s_{gr}}^{mC(N)}, \beta_{p_{func}}^{mC(N)}$ - функції розподілу вуглеводів та азоту в ростучі листя, зелені стебла, функціонуючі репродуктивні органи;

$v^{C(N)}$ - функції перетоку вуглеводів та азоту із листя, стебел та коріння при їх старінні.

Приріст маси окремого i -го органа або окремої його частини знаходиться як сума вуглеводів та азоту, що надійшли в цей орган:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{dC_i}{dt} + \frac{dN_i}{dt}. \quad (3.40)$$

Приріст стебел у висоту визначається як

$$\frac{dh_s}{dt} = \frac{dm}{dt} \frac{1}{\rho_s \pi r_s^2} \frac{1}{N_s}, \quad (3.41)$$

де dh_s/dt -- швидкість росту стебел у висоту;

dm_s/dt - приріст маси стебел;

ρ - питома щільність стебел;

r_s - радіус стебел;

N_s - кількість стебел на одну рослину.

При моделюванні старіння листя зроблено припущення, що пожовклі листя відпадають всі відразу при закінченні вегетаційного періоду:

$$m_{l\,fal} = m_{l\,yel} \quad \text{при} \quad t = t_{end}^{gr.s.}, \quad (3.42)$$

де $m_{l\,fal}$ - маса опалого листя;

$t_{end}^{gr.s.}$ - термін закінчення періоду вегетації рослин.

При моделюванні кореневої системи приймається, що всі вуглеводи та азот, що надійшли у підземну частину рослин направляються у функціонуючі корені:

$$\frac{dmC(N)_{r\,func}}{dt} = \frac{dmC(N)_{root}}{dt}, \quad (3.43)$$

де $mC(N)_{r\,func}$ - кількість вуглеводів та азоту у функціонуючих коренях.

Маса відмерлих коренів знаходиться за співвідношенням

$$m_{r\,mor} = \beta_{r\,mor} m_{r\,funk}, \quad (3.44)$$

де $\beta_{r\,mor}$ - функція відмирання функціонуючих коренів рослин [29].

Ріст коренів у глибину і їхня щільність у ґрунті визначається рівняннями виду:

$$z_r = \frac{d_r m_r}{\rho_r} f_r, \quad (3.45)$$

$$\rho_r = \rho_r^{\max} \left(- e^{-d_r z} \right), \quad (3.46)$$

де z_r - нижня межа кореневої системи;

m_r - маса коренів;

ρ_r - щільність коренів у ґрунті;

ρ_r^{\max} - максимальна щільність коренів у ґрунті;

f_r -функція впливу фізико-механічних властивостей ґрунту на ріст коренів;

d_r, d_ρ - емпіричні параметри.

Приведена вище система рівнянь (3.1) - (3.46) описує формування гідрометеорологічного режиму в системі ґрунт - рослина - атмосфера, основні процеси життєдіяльності рослин, їхній ріст та формування врожаю. Вона записана у загальному вигляді і трансформується в залежності від морфологічних та біологічних особливостей сільськогосподарських культур [23].

4 СЦЕНАРІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МАЙБУТНЬОГО КЛІМАТУ

Проблема зміни глобального клімату настільки складна і значима для людства, що її дослідженням займаються великі наукові колективи в багатьох країнах світу, міжнародні організації і спеціально створені творчі групи. Так, у 1988 р. Всесвітньою Метеорологічною Організацією (ВМО) і Програмою ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) була заснована Міжурядова група експертів зі зміни клімату, одну з робочих груп якої очолює академік Російської Академії Наук Ю.А. Ізраель. Як уже відзначалося, клімат геологічних епох Землі неодноразово мінявся під впливом природних причин. Ученими світу розроблені десятки різних сценаріїв можливих змін клімату Землі під впливом антропогенних факторів – зростаючої господарської діяльності людини, а також військових конфліктів різного масштабу. При вивченні палеокліматів минулих епох російські науковці М.І. Будико, А.А. Величко та ін. показали можливість формування на Землі в доступному для огляду майбутньому кліматичних умов, аналогічних клімату деяких минулих епох. В основу цієї гіпотези покладені оцінки газового стану атмосфери окремих геологічних епох і очікуваних змін концентрації CO₂, метану й інших газів у найближчі 100 років. Сценарії такого підходу стали називати палеокліматичними [14, 19].

В більшості інших сценаріїв теорії клімату в основі лежать розрахунки, виконані за допомогою математичних моделей, які враховують різні допуски тимчасових змін кількості викидів в атмосферу CO₂, метану, інертних газів, фреону та ін., зміни вмісту в тропосфері метану й інших парникових газів.

4.1 Сценарії можливих змін клімату

Отже, зміни у глобальній кліматичній системі можуть розглядатися на сьогодні як незаперечний факт, що доводиться метеорологічними даними за останні 150 років за глобальною середньою температурою повітря та океану, підвищенням глобального середнього рівня моря та таненням снігу та льоду. Є дуже ймовірним, що підвищення глобальних середніх температур, яке спостерігається з середини 20 століття, здебільшого викликано підвищенням концентрацій антропогенних парникових газів [19, 26]. Щоб визначити причини змін клімату, що мають місце, а також оцінити майбутні зміни, було реалізовано безпрецедентний за своїми масштабами та кількістю учасників модельний проект – дослідниками з 11 країн було виконано чисельні інтегрування з 23 складними фізико-математичними моделями загальної циркуляції атмосфери і океану. Під час експерименту розраховувався клімат 20 століття при заданих, відповідних до спостережень, концентраціях парникових газів, а також клімат для різних сценаріїв, які наведені у Спеціальній доповіді зі сценаріїв викидів (СДСВ) [19, 26]. Все це дозволило просунути в уточненні та підвищенні достовірності оцінок майбутніх змін клімату, а також оцінити імовірнісні розподіли характеристик клімату для кожного зі сценаріїв.

Сучасні моделі загальної циркуляції атмосфери і океану дозволяють розглянути не тільки зміни глобального клімату, а й, певною мірою, оцінити його регіональні аспекти. Наприклад, розділення моделі Лабораторії геофізичної гідродинаміки (GFDL) Національної адміністрації по океану та атмосфері (NOAA) США версії 2.1 становить 2° широти \times $2,5^\circ$ довготи, тобто дозволяє достатньо докладно вивчити регіональні особливості майбутніх змін різноманітних кліматичних характеристик над територією, яку можна зіставити з Україною [14, 19, 26].

Майбутні викиди газів з парниковим ефектом (ПГ: вуглекислий газ CO_2 , метан CH_4 , закись азоту N_2O , гідрофторвуглеці HFCs, перфторвуглеці PFCs,

сірчаний гексафторид SF_4 , хлористі фторвуглеводні HCFCs, хлористі фторвуглеці CFCs, двооксид сірки SO_2 , оксид вуглецю CO, оксиди азоту NO_x та неметанові леткі органічні сполуки NMVOC) є продуктом дуже складних динамічних систем, що складаються з таких визначальних факторів, як демографічний розвиток, соціально-економічний розвиток та технологічні зміни. Їх розвиток у майбутньому є дуже невизначеним. Сценарії являють собою альтернативні прогнози можливого розвитку подій у майбутньому, вони також є слушним засобом для аналізу того, яким чином визначальні фактори можуть впливати на показники майбутніх викидів, а також оцінки пов'язаних з ними невизначеностей. Вони сприяють аналізу змін клімату, включаючи моделювання клімату та оцінку наслідків, адаптацію та пом'якшення наслідків. Дуже мало ймовірно є можливість того, що траєкторія якогось єдиного викиду збіжиться з описаною у сценаріях [14, 19, 26].

Робочою групою Міжнародної групи експертів зі змін клімату були розроблені чотири основних описових сюжетних лінії (рис. 4.1) для послідовного викладення зв'язків між визначальними факторами викидів та їх розвитком, а також додатковий контекст для кількісного визначення сценарію. Кожна сюжетна лінія зображує різні демографічні, соціальні, економічні, технологічні та екологічні події, які одними особами можуть розглядатися позитивно, а іншими – негативно [14, 19].

Сценарії містять широкий перелік основних демографічних, економічних та технологічних визначальних факторів ПГ та викидів сірки. Кожний сценарій являє собою конкретне кількісне тлумачення однієї з чотирьох сюжетних ліній. Усі сценарії, що ґрунтуються на одній сюжетній лінії, являють собою сценарну «родину». Треба відзначити, що сценарії не містять додаткові ініціативи у галузі клімату, тобто не має сценарію, який би припускав здійснення Рамочної конвенції ООН про зміни клімату або Кіотського протоколу. В той же час, на викиди ПГ безпосередньо впливає політика у галузі некліматичних змін, спрямована на досягнення інших цілей.

До того ж, урядова політика може у різній мірі впливати на фактори викиду ПГ, а саме на демографічні зміни, соціально-економічний розвиток, технологічні зміни, використання ресурсів та регулювання забрудненням. Саме цей вплив відображується у сюжетних лініях та підсумкових сценаріях.

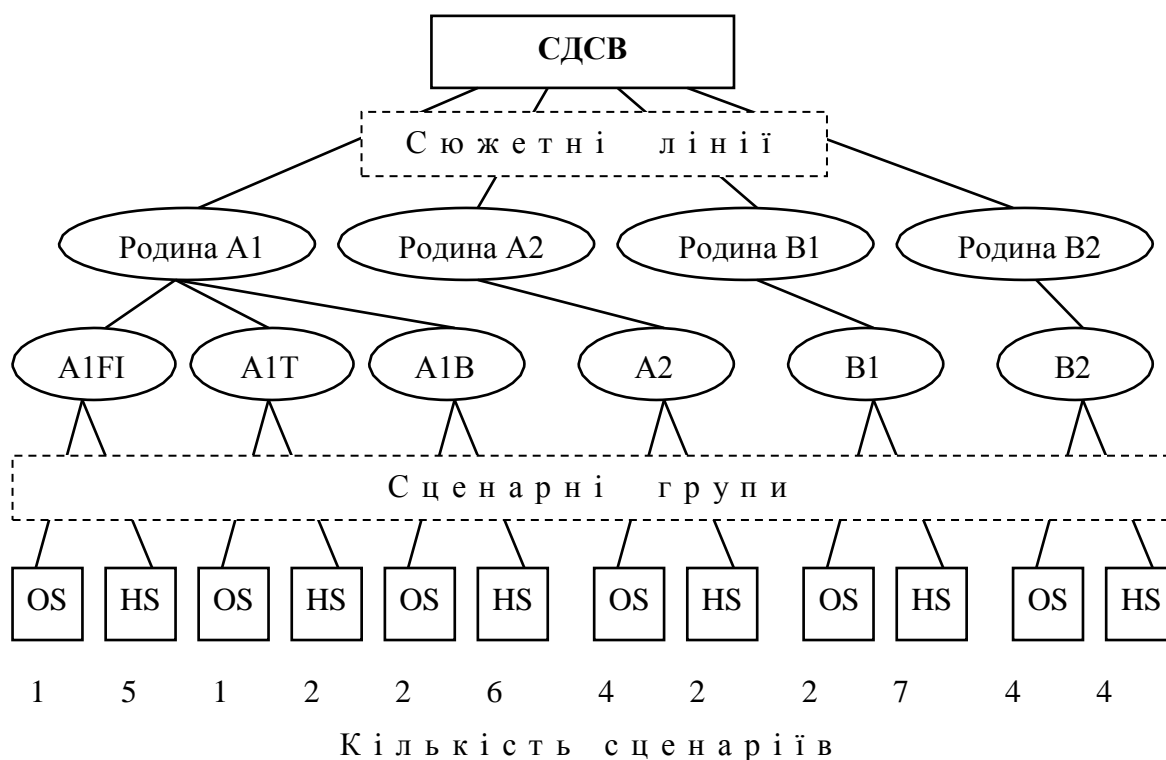


Рисунок 4.1 – Схематична ілюстрація сценаріїв СДСВ [19].

У межах кожної групи і родини «HS» позначає сценарії з узгодженими припущеннями щодо розвитку загального населення та сукупного національного продукту, а «OS» – сценарії, в яких розглядаються невизначеності стосовно визначальних факторів [19].

Для кожної сюжетної лінії було розроблено декілька різних сценаріїв з використанням різних концепцій моделювання з метою розглядання низки результатів, пов'язаних з моделями, що використовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів. Однією з переваг багатомодельного підходу є те, що підсумкові 40 сценаріїв СДСВ у своїй сукупності охоплюють існуючий діапазон невизначеностей стосовно

майбутніх викидів ПГ, які виникають внаслідок різних характеристик цих моделей, окрім існуючих невизначеностей, що мають місце через визначальні фактори сценарію, зокрема демографічні, соціально-економічні та технологічні події, які визначають ці моделі, про що йде мова у сюжетних лініях. Тринадцять з цих сорока сценаріїв розглядають зміни, пов'язані з припущеннями стосовно енергетичних технологій.

У межах кожної сценарної родини були розроблені два основних види сценаріїв – сценарії з узгодженими припущеннями стосовно глобального населення, економічного росту і кінцевого використання енергії та сценарії з альтернативним кількісним визначенням сюжетної лінії. У своїй сукупності 26 сценаріїв були узгоджені через прийняття припущень стосовно розвитку загального населення та сукупного національного продукту. Таким чином, узгоджені сценарії у кожній родині не є незалежними один від іншого. Решта 14 сценаріїв прийняли альтернативні тлумачення чотирьох сюжетних ліній для вивчення додаткових сценарних невизначеностей. Вони також пов'язані між собою у межах кожної родини, навіть не зважаючи на те, що не містять загальних припущень стосовно деяких визначальних факторів [14, 19].

Отже, є шість сценарних груп, які слід вважати у рівній мірі обґрунтованими і які охоплюють широке коло невизначеностей. Вони містять чотири комбінації демографічних змін, соціально-економічного розвитку та технологічних подій, які відповідають чотирьом родинам (A1, A2, B1, B2), кожна з яких має ілюстративний сценарій (рис. 4.1).

У цілому, кожна сюжетна лінія передбачає зовсім інший напрямок майбутніх подій, у результаті чого чотири сюжетні лінії відрізняються усе більш необоротним чином. Разом вони надають опис різноманітних варіантів майбутнього, які охоплюють значну частку основних невизначеностей у чотирьох визначальних факторах. Вони також охоплюють широкий діапазон ключових «майбутніх» характеристик, зокрема демографічні зміни, економічний розвиток і технологічні зміни. З огляду на це їх правдоподібність або здійсненність не слід розглядати виключно

грунтуючись на екстраполяції поточних економічних, технологічних та соціальних тенденцій.

Сюжетна лінія та сценарна родина A1 містить опис майбутнього світу, що характеризується швидким економічним ростом, глобальним населенням, показники якого сягають пікових значень у середині сторіччя з подальшим зменшенням, а також швидким упровадженням нових та ефективніших технологій. Першорядними питаннями будуть поступове зближення різних регіонів, створення потенціалу та активізація культурних і соціальних взаємозв'язків за значного зменшення регіональних відмінностей у доході на душу населення. Розбивається сценарна родина A1 на три групи, які надають опис альтернативних варіантів технологічних змін в енергетичній системі, а саме відрізняються своїм центральним технологічним елементом: істотна частина викопних видів палива (A1FI), невикопні види палива (A1T) і рівновага між усіма джерелами (A1B), яка визначається як не дуже велика залежність від одного конкретного джерела енергії. Через те, що інші визначальні фактори будуть сталими, швидке зростання спричинить високі показники обороту капіталу, внаслідок чого невеликі відмінності на початковому етапі між сценаріями призведуть до великого розходження до 2100 р. Надається опис у сюжетній лінії A2 дуже неоднорідного світу. Першорядною темою буде самозабезпечення та збереження місцевої самобутності. Показники народжуваності у різних регіонах дуже повільно зближатимуться, внаслідок чого спостерігатиметься сталий ріст загальної кількості населення. Економічний розвиток буде мати головним чином регіональну спрямованість, а економічне зростання у розрахунку на душу населення і технологічні зміни будуть більш фрагментарними та повільними у порівняннях з іншими сюжетними лініями [14, 19, 26].

Сценарна родина і сюжетна лінія B1 містить опис світу, який рухається в одному напрямку з тим же глобальним населенням, яке сягає максимальної чисельності у середині століття, а потім зменшується, як й у сюжетній лінії A1, але за швидких змін в економічних структурах в напрямку сервісної та

інформаційної економіки зі зменшенням матеріальної інтенсивності та упровадженням чистих і ресурсощадних технологій. Головна увага приділятиметься глобальним рішенням економічної, соціальної та екологічної сталості, включаючи більшу справедливість, але без додаткових ініціатив, пов'язаних з кліматом [14, 19, 26].

Сценарна родина і сюжетна лінія В2 містить опис світу, в якому головна увага приділятиметься локальним рішенням проблеми економічної, соціальної та екологічної сталості. Це буде світ з глобальним населенням, яке стало збільшується з темпами, нижчими ніж для А2, проміжними рівнями економічного розвитку і менш швидкими, але різноманітнішими, змінами у порівнянні з лініями В1 і А1. Хоч цей сценарій також орієнтований на охорону навколишнього середовища та соціальну справедливість, головна увага у ньому приділятиметься місцевим і регіональним рівням.

Таким чином, при моделюванні клімату 21 століття моделювання ансамблем моделей, до якого належить і модель GFDL, виконувалося з впливом одного з найважливіших зовнішніх чинників – викидів парникових газів до атмосфери, – які, в свою чергу, бралися за сценаріями СДСВ [19]. Отже, результатами інтегрування моделі є численні тривимірні масиви гідрометеорологічних даних.

Було вибрано серед цих масивів два – середньомісячна температура повітря поблизу підстильної поверхні та місячна кількість опадів – для періодів 1986-2000 рр. та 2011-2025 рр. та для трьох сценаріїв – «жорсткого» А2, «помірного» А1В і «м'якого» В1 – у вузлах регулярної сітки, обмеженої широтами 43,5° та 53,5° півн.ш. і довготами 21,25° та 41,25° сх.д.

5 АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА УМОВ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ

5.1 Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю

Зміна агрокліматичних умов вирощування ярого ячменю привела до зміни показників фотосинтетичної продуктивності і як наслідок урожаю зерна. На фоні зміни кліматичних умов нами розглядались такі варіанти:

- базовий;
- кліматичні умови періоду;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ в атмосфері.

Слід зазначити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності ярого ячменю розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів культури.

Детальний аналіз динаміки росту, розвитку та показників фотосинтетичної продуктивності посівів ярого ячменю в умовах зміни клімату проведемо на прикладі Житомирській області за періоди: 1986-2005рр. (прийнятий як базовий період), за періоди 2011-2030р.р. (перший розрахунковий період) та за період 2031 – 2050 р.р. (другий розрахунковий період).

Для оцінки можливих змін клімату було використано 2 сценарії: «помірний» - *A1B*, який передбачає рівновагу між усіма джерелами енергії, та «жорсткий» - *A2*, який передбачає невизначеності стосовно визначальних факторів і базується на використанні різних концепцій моделювання, які застосовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B*, терміни сівби ярого ячменю змістяться на більш ранні строки в Житомирській області – на 16-18

днів, в порівнянні з середніми багаторічними даними базового періоду (табл. 5.1).

В Житомирській області поява сходів ярого ячменю за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в період 2011 – 2030 рр. наставатиме на 9 днів раніше, ніж в базовий період, а тривалість міжфазного періоду зросте до 20 днів.

В другий період (2031 – 2050 рр.) дата сходів наставатиме на 13 днів раніше. Терміни настання дати колосіння за сценарієм в перший та другий періоди очікуватимуться на 5 – 6 днів раніше, ніж в базовий період. Те ж саме буде спостерігатись і з датою настання воскової стиглості.

Тривалість періоду посів – воскова стиглість збільшиться до 106 – 107 днів в порівнянні з базовим періодом.

Таблиця 5.1 – Фази розвитку ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *A1B* в періоди (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Посів	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Житомирська область					
1986-2005	16.IV	30.IV	19.VI	19.VII	94
2011-2030	31.III	21.IV	14.VI	15.VII	107
Різниця	-16	-9	-5	-4	+13
2031-2050	29.III	17.IV	13.VI	12.VII	106
Різниця	-18	-13	-6	-7	+12

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період (2011 – 2030 рр.) середня температура в період від сходів до колосіння становитиме 14,7°C в Житомирській області.

В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде близькою до середніх багаторічних значень і складатиме 13,6 °C (табл. 5.2).

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період від сходів до колосіння збільшиться на 58 %. В другий розрахунковий період опади теж будуть збільшуватись, але значно менше – на 16 %.

Сумарне випарування в перший розрахунковий період від сходів до колосіння зросте і становитиме в Житомирській області до 144 мм, що на 58 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період сумарне випарування збільшиться лише на 29 % в порівнянні з базовим періодом.

Як показують розрахунки за сценарієм *A1B* в перший період випаровуваність від сходів до колосіння становила 334 мм, що на 54 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність збільшиться лише на 35 % в порівнянні з базовим періодом.

Дефіцит вологості в перший розрахунковий період від сходів до колосіння зросте і становитиме в Житомирській області до 192 мм, що на 52 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості збільшиться лише на 29 % в порівнянні з базовим періодом.

Як показують розрахунки за сценарієм *A1B* в перший період випаровуваність від сходів до колосіння становила 334 мм, що на 54 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості збільшиться лише на 39 % в порівнянні з базовим періодом.

Вологозабезпеченість як в базовий так і в перший розрахунковий період від сходів до колосіння в Житомирській області складала 0,56 відн.од. В другий розрахунковий період вологозабезпеченість зменшиться на 3,6 % в порівнянні з базовим періодом.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період (2011 – 2030 рр.) середня температура в період від колосіння до воскової стиглості становитиме 18,3°C в Житомирській області.

В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде більшою від середніх багаторічних значень на 1,2 і складатиме 19,5 °C (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *A1B* в перший (2011-2030 рр.) і другий (2031-2050 рр.) періоди

Періоди розрахунку	сходи – колосіння						колосіння – воскова стиглість						Вегетаційний період	
	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	дефіцит вологості, мм	вологозабезпеченність, відн.од	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	дефіцит вологості, мм	вологозабезпеченність, відн.од	сума опадів, мм	вологозабезпеченність, відн.од
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Житомирська область														
1986 – 2005	13,9	95	90	216	126	0,56	18,3	116	83	187	103	0,60	211	0,58
2011 – 2030	14,7	150	142	334	192	0,56	18,9	89	59	130	71	0,61	239	0,57
Різниця	+0,8	58%	58%	54%	52%	-	+0,6	-23%	-29%	-30%	-31%	2%	13%	-2%
2031 – 2050	13,6	110	116	291	175	0,54	19,5	117	72	167	96	0,58	227	0,55
Різниця	-0,3	16%	29%	35%	39%	-3,6%	+1,2	0,8%	-13%	-10%	-7%	-3%	-7%	-5%

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період від колосіння до воскової стиглості зменшиться на 23 %. В другий розрахунковий період опади будуть близькими до середньо багаторічних значень.

Сумарне випарування в перший розрахунковий період від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Житомирській області до 59 мм, що на 29 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період сумарне випарування зменшиться лише на 13 % в порівнянні з базовим періодом.

Як показують розрахунки за сценарієм *A1B* в перший період випаровуваність від колосіння до воскової стиглості становила 130 мм, що на 30 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність зменшилася на 13 % в порівнянні з базовим періодом.

Дефіцит вологості в перший розрахунковий період від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Житомирській області до 71 мм, що на 31 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості зменшиться лише на 29 % в порівнянні з базовим періодом.

Вологозабезпеченість як в базовий так і в перший та другий розрахункові періоди від колосіння до воскової стиглості в Житомирській області коливалися від 0,58 відн.од. до 0,60 відн.од.

Сума опадів за середньо багаторічними даними за вегетаційний період складала 211 мм. За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період сума опадів за вегетаційний період зросте на 13 %. В другий розрахунковий період опади за вегетаційний період зменшаться на 7 % в порівнянні з середньо багаторічними значеннями.

Вологозабезпеченість за вегетаційний період буде коливатися від 0,55 відн.од. до 0,58 відн.од.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2*, терміни сівби ярого ячменю змістяться на більш ранні строки в Житомирській області – на 26-28 днів, в порівнянні з середніми багаторічними даними базового періоду (табл. 5.3).

В Житомирській області поява сходів ярого ячменю за умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в період 2011 – 2030 рр. наставатиме на 11 днів раніше, ніж в базовий період, а тривалість міжфазного періоду зросте до 24 днів.

В другий період (2031 – 2050 рр.) дата сходів наставатиме на 13 днів раніше. Терміни настання дати колосіння за сценарієм в першій та другий періоди очікуватимуться на 4 – 6 днів раніше, ніж в базовий період. Те ж саме буде спостерігатись і з датою настання воскової стиглості.

Тривалість періоду посів – воскова стиглість збільшиться до 118 днів в порівнянні з базовим періодом.

Таблиця 5.3 – Фази розвитку ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *A2* в періоди (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Посів	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Житомирська область					
1986-2005	16.IV	30.IV	19.VI	19.VII	94
2011-2030	20.III	19.IV	15.VI	16.VII	118
Різниця	-27	-11	-4	-3	+24
2031–2050	21.III	17.IV	13.VI	16.VII	118
Різниця	-26	-13	-6	-3	+24

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період (2011 – 2030 рр.) середня температура в період від сходів до колосіння становитиме 12,1°C в Житомирській області.

В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде близькою до середніх багаторічних значень і складатиме 13,5 °C (табл. 5.4).

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період від сходів до колосіння збільшиться на 24 %. В другий розрахунковий період опади теж будуть збільшуватись – на 73 %.

Сумарне випарування в перший розрахунковий період від сходів до колосіння зросте і становитиме в Житомирській області до 108 мм, що на 20 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період сумарне випарування збільшиться на 76 % в порівнянні з базовим періодом.

Як показують розрахунки за сценарієм *A2* в перший період випаровуваність від сходів до колосіння становила 256 мм, що на 19 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність збільшиться на 56 % в порівнянні з базовим періодом.

Дефіцит вологості в перший розрахунковий період від сходів до колосіння зросте і становитиме в Житомирській області до 148 мм, що на 17 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості збільшиться майже на 56 % в порівнянні з базовим періодом.

Вологозабезпеченість як в базовий так і в перший розрахунковий період від сходів до колосіння в Житомирській області складала 0,56 відн.од. В другий розрахунковий період вологозабезпеченість збільшиться на 11 % в порівнянні з базовим періодом.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період (2011 – 2030 рр.) середня температура в період від колосіння до воскової стиглості становитиме 17,4°C в Житомирській області.

Таблиця 5.4 – Агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	сходи – колосіння						колосіння – воскова стиглість						Вегетаційний період	
	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	дефіцит вологості, мм	вологозабезпеченність, відн.од	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	дефіцит вологості, мм	вологозабезпеченність, відн.од	сума опадів, мм	вологозабезпеченність, відн.од
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Житомирська область														
1986 – 2005	13,9	95	90	216	126	0,56	18,3	116	83	187	103	0,60	211	0,58
2011 – 2030	12,1	118	108	256	148	0,56	17,4	151	99	211	112	0,64	269	0,60
Різниця	-1,8	+24%	+20%	+19%	+17%	-	-0,9	+30%	+19%	+13%	+9%	+7%	+27%	+3%
2031 – 2050	13,5	165	159	338	180	0,62	18,6	122	65	124	60	0,70	287	0,64
Різниця	-0,4	+73%	+76%	+56%	+43%	+11%	+0,3	5%	-21%	-34%	-42%	16%	36%	10%

В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде більшою від середніх багаторічних значень на 0,3 і складатиме 18,6 °С (табл. 5.4).

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період від колосіння до воскової стиглості зменшиться на 30 %. В другий розрахунковий період опади будуть близькими до середньо багаторічних значень і збільшаться лише на 5 %.

Сумарне випарування в перший розрахунковий період від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Житомирській області до 99 мм, що на 19 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період сумарне випарування зменшиться на 21 % в порівнянні з базовим періодом.

Як показують розрахунки за сценарієм *A1B* в перший період випаровуваність від колосіння до воскової стиглості становила 211 мм, що на 13 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність зменшилася на 34 % в порівнянні з базовим періодом.

Дефіцит вологості в перший розрахунковий період від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Житомирській області до 112 мм, що на 13 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості зменшиться на 62 % в порівнянні з базовим періодом.

Вологозабезпеченість як в базовий так і в перший та другий розрахункові періоди від колосіння до воскової стиглості в Житомирській області коливалися від 0,60 відн.од. до 0,70 відн.од.

Сума опадів за середньо багаторічними даними за вегетаційний період складала 211 мм. За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період сума опадів за вегетаційний період зросте на 27 %. В другий розрахунковий період опади за вегетаційний період збільшиться на 36 % в порівнянні з середньо багаторічними значеннями.

Вологозабезпеченість за вегетаційний період буде коливатися від 0,58 відн.од. до 0,64 відн.од.

Зміна агрокліматичних умов вирощування ярого ячменю спричинить не тільки зміни в темпах розвитку рослин а й приведе до зміни показників фотосинтетичної продуктивності і, як наслідок, урожаю зерна. На фоні зміни кліматичних умов у перший (2011 – 2030 рр.) та другий (2031 – 2050 рр.) періоди були розглянуті ті ж варіанти:

- базовий період (1986 – 2005 рр.)
- кліматичні умови періоду;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm*.

Показники фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю розраховані за сценарієм *A1B* для Житомирської області наведені табл. 5.5.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* за період 2011 – 2030 рр. площа листя ярого ячменю в період максимального розвитку збільшиться в Житомирській області - на $0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в порівнянні з базовим періодом (табл. 5.5, рис. 5.1).

В умовах збільшення CO_2 площа листя ярого ячменю зросте лише на 5 %.

В другий період (2031 – 2050 рр.) площа листя ярого ячменю збільшиться на $0,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

В умовах збільшення CO_2 в другий період площа листя ярого ячменю зросте в порівнянні з базовим на $8 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Як видно із табл. 5.5 найбільший приріст площі листя в другий період спостерігатиметься у варіанті зі збільшенням CO_2 в Житомирській області і складатиме $2,21 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) в Житомирській області становитиме $83 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на $4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ менше порівняно з базовим періодом.

В умовах збільшення CO_2 фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в порівнянні з базовим зросте на $3 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Таблиця 5.5 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Варіант	Площа листя в період максимально го розвитку, м ² /м ²	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м ² дек	Приріст маси в період максимально го розвитку, г/м ² · дек	Суха біомаса, г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²	Урожай, ц/га
Житомирська область							
1986-2005	Базовий	1,87	71	128	451	87	25
2011-2030	Клімат	1,82	73	128	465	83	26
2031-2050	Клімат + CO ₂	1,97	75	144	516	90	29
	Клімат	2,02	69	126	508	95	27
	Клімат + CO ₂	2,21	71	141	566	103	30

Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A1B* (2031-2050 рр.) в Житомирській області становитиме $95 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на $8 \text{ м}^2/\text{м}^2$ більше порівняно з базовим періодом. В умовах збільшення CO_2 фотосинтетичний потенціал ярого ячменю зросте в порівнянні з базовим на 18%.

Приріст маси ярого ячменю в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) залишиться на рівні середньої багаторічної величини.

Підвищення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* обумовить в перший період збільшення приросту маси ярого ячменю в період максимального розвитку на $16 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$.

Приріст маси ярого ячменю в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату *A1B* в другий період (2031-2050 рр.) зменшиться на $2 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$.

Підвищення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в цей період обумовить збільшення приросту маси ярого ячменю на $13 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$.

В залежності від збільшення показників фотосинтетичної продуктивності

зросте і суха біомаса цілої рослини ярого ячменю. За сценарієм *A1B* в перший період вона збільшиться незначно, всього на 3 %. При збільшенні CO_2 – на 14 % в порівнянні з базовим періодом.

Урожай ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A1B* в перший період (2011-2030 рр.) в Житомирській області очікуватиметься до 26 ц/га, тобто майже на рівні середніх багаторічних значень.

Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в перший період суттєво підвищить рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів, що спричинить підвищення врожаї зерна. Очікуваний урожай ярого ячменю за сценарієм *A1B* становитиме 29 ц/га.

В другий розрахунковий період в Житомирській області урожай ярого ячменю за сценарієм (2031-2050 рр.) становитиме 27 ц/га, що на 2 ц/га більше ніж в базовий період.

Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 ppm в другий період підвищить рівень врожайності. Очікуваний урожай ярого ячменю становитиме 30 ц/га.

Розглянемо як змінюватимуться показники фотосинтетичної продуктивності за сценарієм зміни клімату A1B.

В Житомирській області площа листя ярого ячменю як в базовий період, так і в обидва розрахункові періоди за сценарієм зміни клімату A1B зростатиме до шостої декади досягне максимального значення і становитиме від 1,87 до 2,21 m^2/m^2 (рис. 5.1). В перший період у порівнянні з середньою багаторічною величиною вона зменшиться на 3%, в другий – збільшиться на

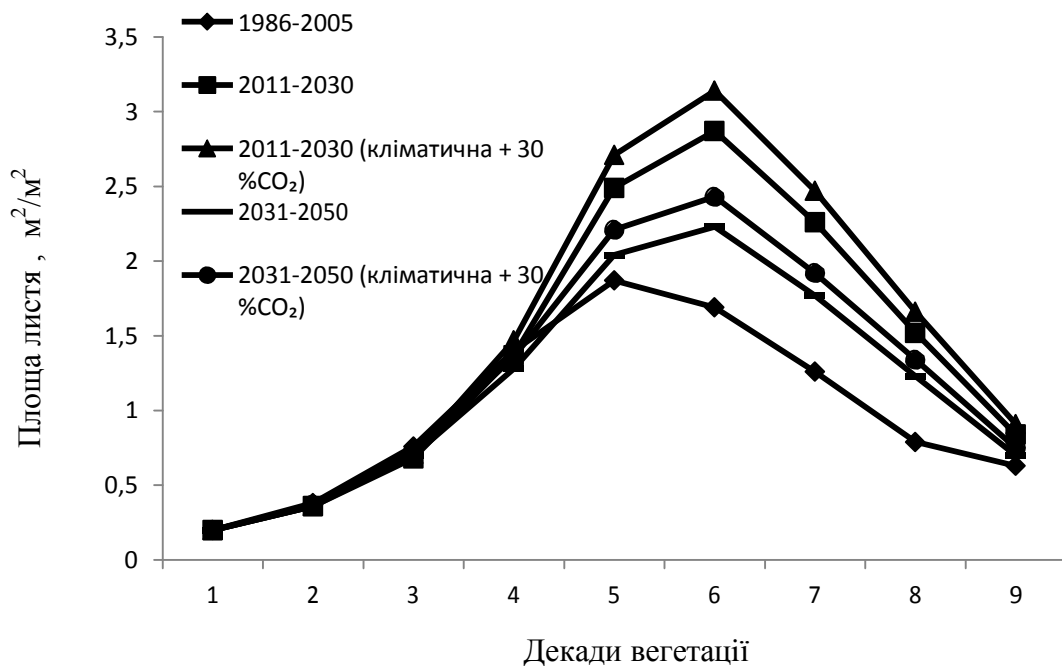


Рисунок 5.1 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Житомирській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

0,15 м²/м². В умовах підвищення СО₂, в Житомирській області площа листя ярого ячменю зростатиме також до шостої декади, в перший період 1,82 м²/м². В другий період підвищення СО₂ сприятиме збільшенню площі листя на 0,34 м²/м² в порівнянні з площею базового періоду.

В базовий період у Житомирській області чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась з першої по п'яту декаду вегетації досягла рівня 71 г/м² потім почала знижуватися. В обидва розрахункові періоди за сценарієм А1В чиста продуктивність фотосинтезу набуде максимального значення у п'яту декаду вегетації і становитиме 73 г/м² та 69 г/м² відповідно. В умовах збільшення СО₂ динаміка чистої продуктивності фотосинтезу повторить хід за кліматичними сценаріями. За умов збільшення СО₂ досягне в п'яту декаду вегетації значень 75 г/м² та 71 г/м² відповідно (рис. 5.2).

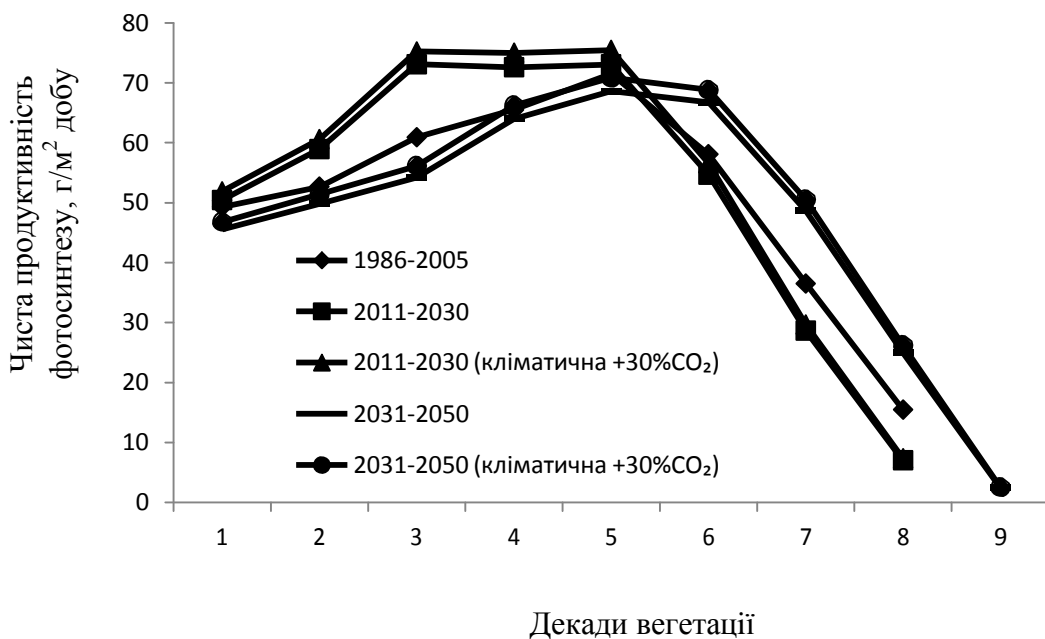


Рисунок 5.2 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Житомирській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

Суша маса ярого ячменю в Житомирській області за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.), почала зростати з п'ятої декади вегетації і це зростання тривало до дев'ятої і становила 288 г/м^2 (рис. 5.3). За сценарієм зміни клімату в перший період (2011-2030 рр.), суха маса ярого ячменю почне збільшуватись з п'ятої до дев'ятої декади вегетації і досягне рівня 301 г/м^2 . В період максимального розвитку в умовах збільшення CO_2 суха маса матиме вищі показники і в дев'яту декаду буде 336 г/м^2 (рис. 5.3).

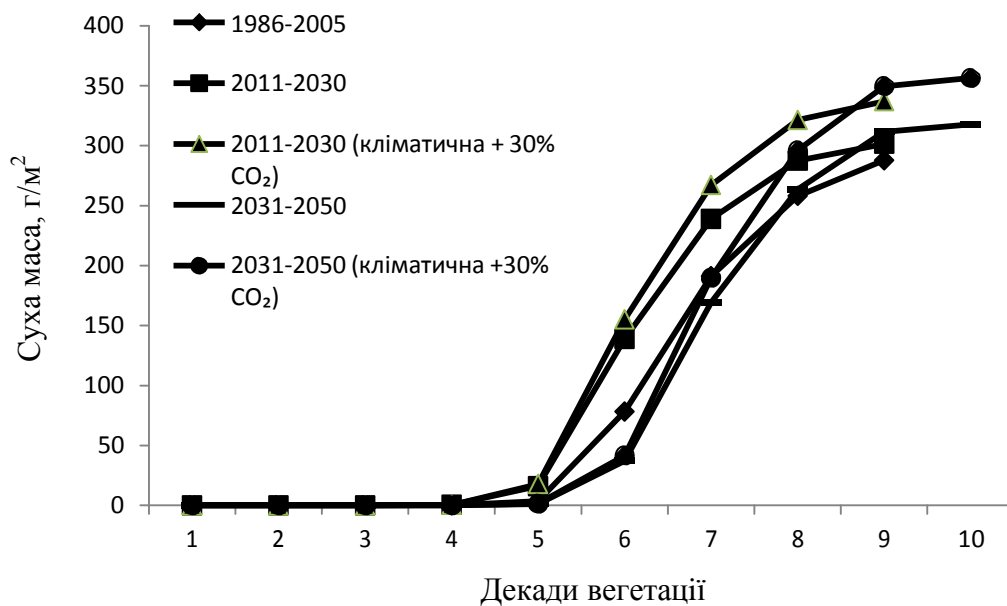


Рисунок 5.3 – Суха маса ярого ячменю в Житомирській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

В другий розрахунковий період (2031-2050 рр.) в Житомирській області суха маса ярого ячменю почне зростати з п'ятої декади і триватиме до десятої декади вегетації, і в десятю декаду становитиме 317 г/м^2 . За умови підвищення CO_2 суха маса в десятю декаду становитиме 356 г/м^2 (рис. 5.3).

Розглянемо як змінюватимуться показники фотосинтетичної продуктивності за сценарієм зміни клімату A2.

Таблиця 5.6 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Варіант	Площа листя в період максимального розвитку, м ² /м ²	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м ² дек	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м ² дек	Суша біомаса, г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²	Урожай, ц/га
Житомирська область							
1986-2005	Базовий	1,87	71	128	451	87	25
2011-2030	Клімат	2,22	69	146	576	112	31
	Клімат + CO ₂	2,43	71	165	644	121	35
2031-2050	Клімат	2,71	74	184	734	133	40
	Клімат + CO ₂	2,97	76	208	822	145	45

Показники фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю розраховані за сценарієм *A2* для Житомирської області наведені табл. 5.6.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* за період 2011 – 2030 рр. площа листя ярого ячменю в період максимального розвитку збільшиться в Житомирській області - на $0,35 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в порівнянні з базовим періодом (табл. 5.6, рис. 5.4).

В умовах збільшення CO_2 площа листя ярого ячменю зросте лише на 30 %.

В другий період (2031 – 2050 рр.) площа листя ярого ячменю збільшиться на $0,84 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

В умовах збільшення CO_2 в другий період площа листя ярого ячменю зросте в порівнянні з базовим на $1,1 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Як видно із табл. 5.6 найбільший приріст площі листя в другий період спостерігатиметься у варіанті зі збільшенням CO_2 в Житомирській області і складатиме $2,97 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A2* (2011-2030 рр.) в Житомирській області становитиме $112 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на $25 \text{ м}^2/\text{м}^2$ більше порівняно з базовим періодом.

В умовах збільшення CO_2 фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в порівнянні з базовим зросте на $34 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A2* (2031-2050 рр.) в Житомирській області становитиме $133 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на $46 \text{ м}^2/\text{м}^2$ більше порівняно з базовим періодом. В умовах збільшення CO_2 фотосинтетичний потенціал ярого ячменю зросте в порівнянні з базовим на 67 %.

Приріст маси ярого ячменю в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату *A2* (2011-2030 рр.) збільшиться на $18 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$ в порівнянні з базовим періодом.

Підвищення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* обумовить в перший період збільшення приросту маси ярого ячменю в період максимального розвитку на $37 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$.

Приріст маси ярого ячменю в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату *A2* в другий період (2031-2050 рр.) збільшиться на $56 \text{ г/м}^2\text{дек}$.

Підвищення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в цей період обумовить збільшення приросту маси ярого ячменю на $80 \text{ г/м}^2\text{дек}$.

В залежності від збільшення показників фотосинтетичної продуктивності зросте і суха біомаса цілої рослини ярого ячменю. За сценарієм *A2* в перший період вона збільшиться на 27 %. При збільшенні CO_2 – на 43 % в порівнянні з базовим періодом.

Урожай ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A2* в перший період (2011-2030 рр.) в Житомирській області очікуватиметься до 31 ц/га, тобто спостерігатиметься збільшення від середніх багаторічних значень.

Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в перший період суттєво підвищить рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів, що спричинить підвищення врожаї зерна. Очікуваний урожай ярого ячменю за сценарієм *A2* становитиме 35 ц/га.

В другий розрахунковий період в Житомирській області урожай ярого ячменю за сценарієм (2031-2050 рр.) становитиме 40 ц/га, що на 15 ц/га більше ніж в базовий період.

Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в другий період підвищить рівень врожайності. Очікуваний урожай ярого ячменю становитиме 45 ц/га.

Площа листя. В Житомирській області площа листя ярого ячменю в базовий період збільшувалась до шостої декади вегетації, набувала максимального значення у шосту декаду і становила $1,87 - 2,71 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За сценарієм зміни клімату *A2* в перший та другий періоди площа листя матиме таку ж динаміку і збільшиться на $0,35 \text{ м}^2/\text{м}^2$ та $0,56 \text{ м}^2/\text{м}^2$ відповідно. В умовах збільшення CO_2 , в Житомирській області площа листя ярого ячменю зросте ще більше і становитиме в перший період $2,43 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на 30 %

більше в порівнянні з базовим періодом, в другий період вона становитиме на $1,1 \text{ м}^2/\text{м}^2$ більше ніж в базовий періоду (рис. 5.4).

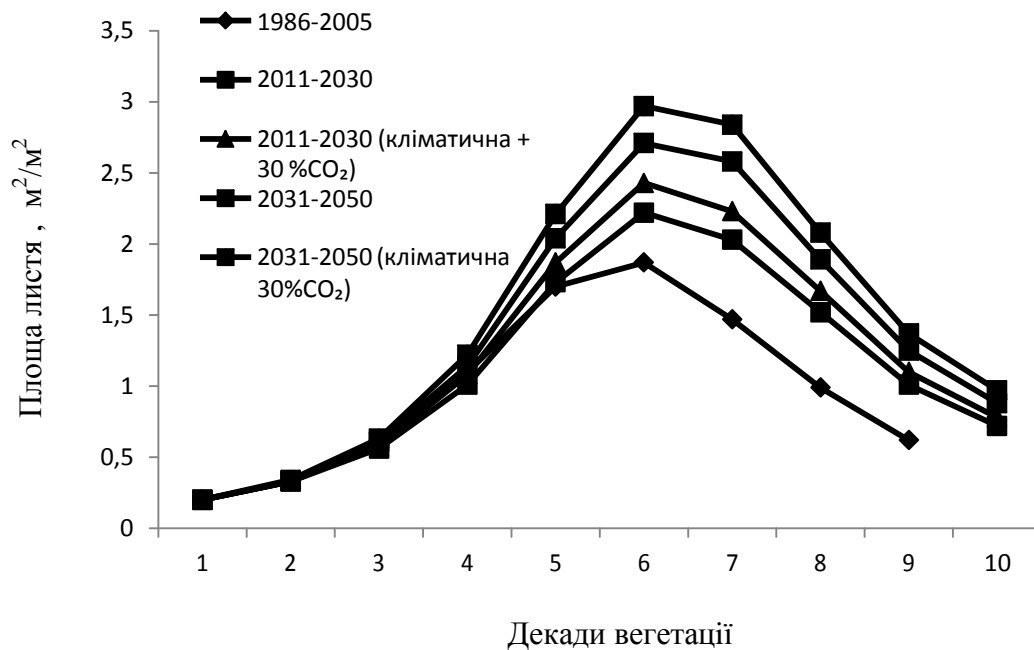


Рисунок 5.4 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Житомирській області за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

Чиста продуктивність фотосинтезу. В Житомирській області чиста продуктивність фотосинтезу за середніми багаторічними даними збільшувалась з першої по п'яту декаду вегетації і становила $71 \text{ г}/\text{м}^2$ потім почала знижуватися. Чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм зміни клімату A2 в першій (2011-2030 рр.) та другий (2031 – 2050 рр.) набуде максимального значення у шосту декаду вегетації і становитиме $69 \text{ г}/\text{м}^2$ та $74 \text{ г}/\text{м}^2$ відповідно. В умовах збільшення CO_2 чиста продуктивність фотосинтезу повторює хід сценаріїв зміни клімату. Максимум чистої продуктивності фотосинтезу в Поліссі за умов збільшення CO_2 досягатиме в шосту декаду і складатиме відповідно по періодах $71 \text{ г}/\text{м}^2$ та $76 \text{ г}/\text{м}^2$ (рис. 5.5).

Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) збільшувалась з першої по п'яту декаду вегетації і складала 76 г/м^2 , потім почала знижуватися (рис. 5.5).

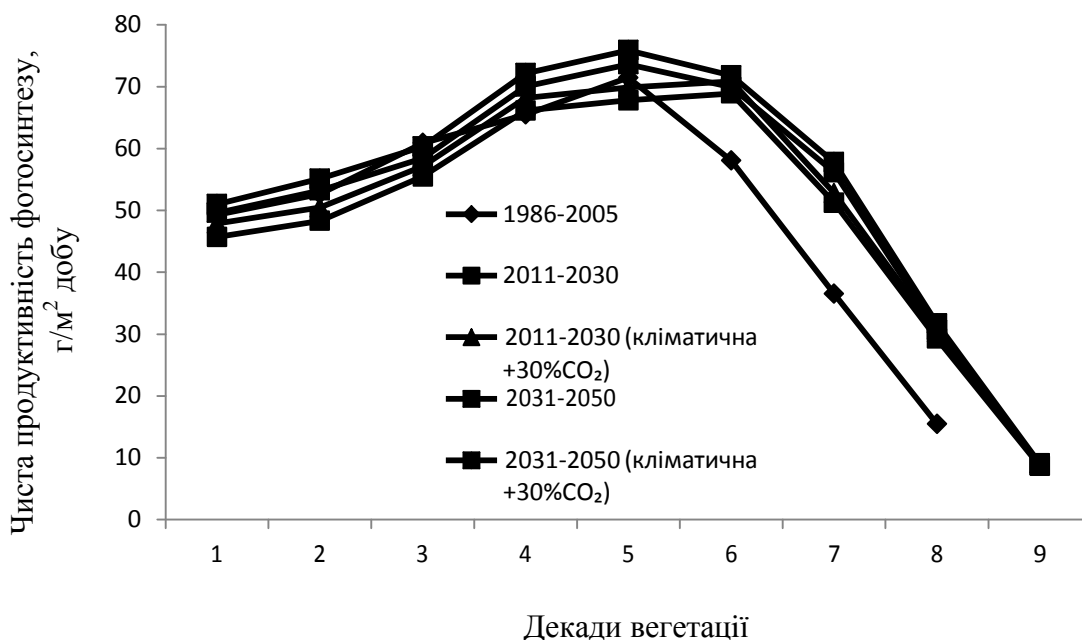


Рисунок 5.5 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Житомирській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

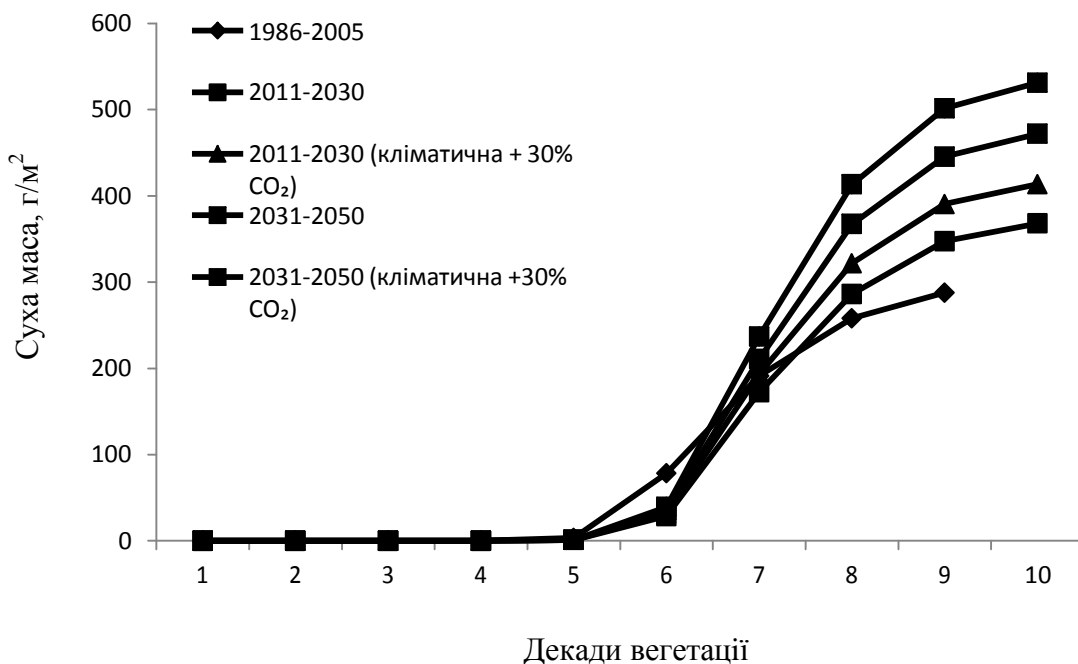


Рисунок 5.6 – Суха маса ярого ячменю в Житомирській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

За сценарієм зміни клімату A2 чиста продуктивність фотосинтезу буде збільшуватись теж до п'ятої декади вегетації і в умовах збільшення CO₂ та складатиме 71 г/м² та 72 г/м² відповідно.

Впродовж вегетаційного періоду суха маса ярого ячменю в Житомирській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) почала зростати з п'ятої до дев'ятої декади вегетації і в дев'яту декаду вегетації вона становила 288 г/м² (рис. 5.6).

За сценарієм зміни клімату A2 в період 20 11-2030 рр. в Житомирській області, суха маса ярого ячменю теж почне набирати масу в п'яту декаду і збільшуватиме її до десятої декади до 368 г/м². При збільшенні CO₂ в десяту декаду вона становитиме 414 г/м². В другий період динаміка наростання сухої маси збережеться і в десяту декаду вона становитиме 471 г/м². В цей же період при збільшенні CO₂ суха маса в десяту декаду вегетації становитиме 531 г/м² (рис. 5.6).

ВИСНОВКИ

Вивчення літературних джерел, обробка і аналіз багаторічних матеріалів агрометеорологічних спостережень та продуктивності ярого ячменю по Житомирській області дозволяють зробити такі висновки:

1. Вивчені біологічні особливості ярого ячменю та його вимоги до умов навколишнього середовища.

2. Вивчені фізико-географічні особливості Житомирської області.

3. Вивчено сучасний стан моделювання продуктивності ярого ячменю.

4. Досліджена динамічна модель продукційного процесу ярого ячменю.

5. Виконано розрахунки та аналіз настання дат сівби та основних фаз розвитку ярого ячменю. В період з 1986 по 2005 сівбу проводили в середині квітня, в період з 2011 по 2050 за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* та *A2* сівба буде раніше на 16 – 18 та 26 – 28 днів відповідно, тому й фази розвитку наставатимуть раніше. Тривалість вегетації в Житомирській області значно не зміниться, за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* та *A2* в Житомирській області очікується збільшення на 12 – 13 та 24 дні, відповідно.

5. За результатами розрахунків проведено аналіз теплового режиму та вологозабезпеченості за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* і *A2* в порівнянні з базовим періодом. Очікувані погодні умови за обома кліматичними сценаріями через зростання дефіциту вологи і внаслідок значного підвищення температури повітря в період повної стиглості будуть сприятливими для вирощування ярого ячменю в Житомирській області.

6. Визначено основні показники фотосинтетичної діяльності посівів ярого ячменю за агрокліматичних умов Житомирської області. Встановлено, що найменш продуктивні посіви очікуються за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* та найбільш продуктивний сценарій зміни клімату *A2*.

Таким чином, в результаті проведеної оцінки умов росту та розвитку ярого ячменю можна зробити висновок, що для території Житомирської

області можна очікувати зростання рівня урожаїв до 20% від базового в разі реалізації сценарію зміни клімату A1B та більше чим 50 % за сценарієм A2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агроклімаичний довідник по Житомирській області. Київ. Вид. Ніка, 2012.
2. Агроєкологічний довідник або довідник агроєкологічних ресурсів Житомирської області. Л.: Гидрометеоіздат. 1965. 1990 рр.
3. Адаменко Т. І. Агрокліматичний довідник по території України / за редакцією Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіді, А. Л. Прокопенка. Кам'янець-Подільський: ПП Галагодза Р.С., 2011. 108 с.
4. Антоненко В. С. Моделирование влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и формирование урожая озимой пшеницы. //Метеорология, климатология и гидрология. Одесса, 1998. № 38. С. 145 – 153.
5. Барсукова **О.А.**, Колун А. Моделювання продуктивності ярого ячменю в Житомирській області //Матеріали ХХХІІІ Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 30-31 грудня 2016 р. Переяслав-Хмельницький. С. 16-17.
6. Барсукова **О.А.**, Гомон А.С., Колун А.О. Особливості просторово-часової мінливості врожаїв ярого ячменю в розрізі регіонів України //Перший всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд з міжнародною участю, м. Одеса, 22-23 березня 2017р. Одеса: ТЕС, 2017. С.51-52.
7. Барсукова **О.А.**, Гомон А.С., Колун А.А. Агрокліматическая оценка условий тепло- и влагообеспеченности озимой пшеницы на ст. Любашовка Одесская область // Матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції «Функціонування АПК на засадах раціонального природокористування», 26 травня 2017 року, м. Полтава. С. 91-92.
8. Барсукова **О.А.**, Колун А.О. Оцінка фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю в умовах змін клімату в Житомирській області: колективна монографія «Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням

наявного потенціалу альтернативних джерел енергії» / за ред. О.О. Горба, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. Полтава: ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2017 р. С. 306-311.

9. BARLEY Growth&Development(http://www.dpi.nsw.gov.au/data/assets/pdf_file/0003/516180/Procrop-barley-growth-and-development.pdf).
10. Богданова Т.Ф. Зависимость урожая ярового ячменя от влагообеспеченности в Степных районах. Труды ГМЦ, 1968, вып. 14.
11. Борисоник З.Б. Яровой ячмень. М.: Колос, 1974. С. 255.
12. Вавілов П.П. Рослинництво. М.: Агрометеоіздат. 1986.
13. Галямин Е.П., Милютин Н.Н., Сиптиц С.О. Математическое моделирование процессов формирования урожая. – В кн.: Вопросы управления комплексом факторов жизни растений. 1978. С. 51 – 65.
14. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия /Под ред. В.М. Котлякова. М.: «Геос». 2000. 262 с.
15. Гармашов В.Н., Семиванов А.Н. Влияние метеорологических факторов на урожайность ярового ячменя. / Метеорология и гидрология. 1981. вып. 7.
16. Дмитренко В. П. О моделях расчета урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических факторов //Метеорология и гидрология. 1971. №5. С. 84 –91.
17. Жуковський П.М. Культурні рослини та їх сородичі. 3 изд. Л. 1971.
18. Желтая Н.Н. О связи областной урожайности ярового ячменя с основными метеорологическими элементами в различных зонах ЕТС //Труды ГМУ, 1973. Вып. 3. С . 21 - 30.
19. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України. /За ред. С.М. Степаненко, А.М. Польового. Одеса: Екологія, 2011. 694 с.
20. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Дронова О.О. Оцінка впливу кліматичних змін на сільське господарство України // Укр. г/мет. ж-л, 2011, №8. С. 84-91.
21. Польовий А.М. «Сільськогосподарська метеорологія». Л.: Гідрометеоіздат.

22. Полевой А. Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 319 с.
23. Полевой А.Н., Кульбида Н.И. Моделирование формирования урожая озимой пшеницы в период весенне-летней вегетации в Украине // Метеорология, климатология и гидрология. – Одесса: 2001. – Вып. 43. – С. 128 – 135.
24. Полевой А.Н., Мызина Т.И. Методическое указание по составлению агрометеорологического прогноза среднеобластной урожайности ярового ячменя в нечерноземной зоне ЕТС. М.: Гидрометеиздат, 1976. 39 с.
25. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.
26. [http://uk.wikipedia.org/wiki/Глобальне потепління.](http://uk.wikipedia.org/wiki/Глобальне_потепління)
27. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 264 с.
28. Thornley J. H.M. Mathematical models in plant physiology. A quantitative approach to problems in plant and crop physiology. – London; New York: Acad. Press, 1976, p. 318.
29. Idso S. B. A holocoenotic analysis of environment-plant relationships. – Agr. Exper. Station Univ. Minn., Tech. Bull. N 264, 1968, p. 1 – 147.
30. Stewart D. W., Lemon E. R. The energy budget at the earth's surface: A simulation of net photosynthesis on field corn. – Techn. Rep., ECOM 2-68, 1 – Interim. Rep. 63-3, Dec. 1969, p. 1 – 132.
31. Selection of a Barley Yield Model Using Information–Theoretic Criteria. Marie Jasieniuk, Mark L. Taper, Nicole C. Wagner, Robert N. Stougaard, Monica Brelsford, and Bruce D. Maxwell* Weed Science 56(4):628-636. 2008.
32. Development and use of a barley crop simulation model to evaluate production management strategies in north-eastern Australia P.J. Goyne,
H. Meinke, S. P. Milroy, G. L. Hammer and J. M. Hare Australian Journal of Agricultural Research 47(7) 997 - 1015 Published: 1996.