МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «**Вплив змін клімату на формування продуктивності ярого ячменю в Південному Степу України»**

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-2а
Спеціальності 103 «Науки про Землю»,
(шифр і назва)
Освітня програма «Агрометеорологія»
(назва)
Думенко Вероніка Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н., доцент
Барсукова Олена Анатоліївна

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

Рецензент к.геогр.н., доцент
Романчук Марина Євгенівна

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

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

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Думенко Веронікі Володимирівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив змін клімату на формування продуктивності ярого ячменю в Південному Степу України
керівник роботи Барсукова Олена Анатоліївна, к.геогр.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 5 » жовтня 2018 року № 271 «С»
2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року
3. Вихідні дані до роботи Матеріали середньобагаторічних метеорологічних, агрометеорологічних та фенологічних спостережень за яровим ячменем мережі агрометстанцій Південного Степу. Метеорологічні дані за сценаріями *RCP4.5* і *RCP8.* Математична модель формування продуктивності ярого ячменю
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості Південного Степу; вивчити біологічні особливості ярого ячменю; ознайомитися з методикою динамічної моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур; оцінити агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю в Південного Степу за базовими умовами та з врахуванням змін клімату за періоди 2011 – 2030 рр. та 2031 – 2050 рр.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Графіки динаміки відносної площі листя посіву ярого ячменю
Графіки динаміки чистої фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю
Графіки динаміки загальної сухої біомаси ярого ячменю .

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання.	29.10.2018 р.		
2	Ознайомлення з фізико-географічними особливостями території дослідження. Біологічні особливості ярого ячменю та їх вимоги до навколишнього середовища. Підготовка банку даних.	30.10.2018 р. - 8.11.2018 р.	90	*5(відмінно)*
3	Вивчення алгоритму динамічної моделі продуктивності сільськогосподарських культур, проведення розрахунків	9.11.2018 р. - 18.11.2018 р.	90	*5(відмінно)*
4	Рубіжна атестація	19.11.2018 р. - 24.11.2018 р.	90	*5(відмінно)*
5	Виконання розрахунків, побудова графіків, таблиць. Аналіз отриманих результатів, написання основного тексту роботи	25.11.2018 р. - 10.12.2018 р.	90	*5(відмінно)*
6	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.	13.12.2018 р.	90	*5(відмінно)*
7	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту	-	-	-
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90	*5(відмінно)*

Студентка _____ __Думенко В.В.__
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ __Барсукова О.А.___
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Думенко В.В. Вплив змін клімату на формування продуктивності ярого ячменю в Південному Степу України.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи було вивчення впливу агрометеорологічних умов на продуктивність ярого ячменю, оцінки агрокліматичних ресурсів Південого Степу при вирощувані цієї культури.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– дати кількісну оцінку впливу агрометеорологічних умов на темпи розвитку рослин;

– виконати розрахунки агрокліматичних показників за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 та проаналізувати умови росту та розвитку ярого ячменю в сучасних та майбутніх агрокліматичних умовах;

– провести чисельні розрахунки й аналіз фотосинтетичної продуктивності посівів ярого ячменю та врожаю зерна на сільськогосподарських угіддях Південного Степу.

Об'єктом дослідження є агрометеорологічні умови формування продуктивності ярого ячменю в умовах зміни клімату.

Предметом дослідження є закономірності впливу агрометеорологічних умов при зміні клімату на фотосинтетичну продуктивність ярого ячменю.

Методи дослідження: в основу роботи положено апарат математичного моделювання продукційного процесу рослин.

Основні результати: за допомогою розрахунків за динамічної моделі отримані наступні результати:

– виконана оцінка зміни агрометеорологічних умов вирощування ярого ячменю в умовах зміни клімату;

– виконана порівняльна оцінка показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю при середньобагаторічних умов та за прийнятими сценаріями зміни клімату

Новизна: вперше для умов Південного Степу виконана оцінка умов вирощування ярого ячменю в умовах зміни клімату.

Теоретичне та практичне значення: вперше динамічна модель адаптована для умов ярого ячменю та отриманні результати дозволяють визначитись з тим, який рівень урожайності цієї культури буде в умовах зміни клімату

Рекомендації: результати роботи можуть бути використані при вирощуванні ярого ячменю в умовах Південного Степу з метою можливого збільшення посівних площ.

Структіра і обсяг роботи: 90 сторінок, 8 рисунків, 8 таблиці, 28 літературних джерел

КЛЮЧОВІ СЛОВА: зміна клімату, агрометеорологічні умови, температура повітря, опади, вологозабезпеченість, ярий ячмінь, фотосинтез, площа листя, біомаса, урожай.

SUMMARY

Dumenko V. V. Influence of climate change on the formation of productivity of spring barley in the Southern Steppe of Ukraine.

The purpose of the master's qualification thesis was to study the influence of agrometeorological conditions on the productivity of spring barley, and to evaluate agro-climatic resources of the Southern Steppe for the cultivation of this culture.

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

- to provide a quantitative assessment of the influence of agrometeorological conditions on the pace of plant development;
- to carry out calculations of agro-climatic indicators under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios and to analyze the conditions of the growth and development of spring barley in contemporary and future agro-climatic conditions;
- carry out numerical calculations and analysis of photosynthetic productivity of spring crops of barley and grain yield on agricultural soils of Southern Steppe.

The object of the research: agrometeorological conditions of the formation of productivity of spring barley during climate change.

The subject were consistent patterns of the influence of agrometeorological conditions during climate changes of climates on the photosynthetic productivity of spring barley.

Methods of research: work is based on the methods of mathematical modeling of the production process of plants.

Main results: using calculations for the dynamical model, the following results were obtained:

- assessment of the changes in agrometeorological conditions for growing spring barley under conditions of climate change was provided;
- a comparative estimation of the parameters of photosynthetic productivity of spring barley at medium-boat conditions and on accepted scenarios of climate change was performed

Novelty: for the first time, conditions for the cultivation of spring barley under conditions of climate change have been evaluated for the conditions of the Southern Steppe.

Theoretical and practical significance: for the first time, the dynamic model has been adapted for the conditions of spring barley and the obtained results allow us to determine the level of yield of this crop in the conditions of climate change.

Recommendations: the results of the work can be used for the growth of spring barley in the conditions of the Southern Steppe with the purpose of possible expansion of the plot area.

Structure and work volume: 90 pages, 8 figures, 8 tables, 28 literal sources

KEY WORDS: climate change, agrometeorological conditions, temperature of air, precipitation, moisture content, spring barley, photosynthesis, leaf area, biomass, crop.

ЗМІСТ

Стр.

ВСТУП ..... ……. 7
1. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТУРИ ТА ЇЇ ВИМОГИ ДО УМОВ ВИРОЩУВАННЯ…… 10
1.1 Ботанічна характеристика ярого ячменя…….. 10
1.2 Вимоги ярого ячменю до світла…….. 14
1.3 Вимоги ярого ячменю до тепла…….. 16
1.4 Вимоги ярого ячменю до вологи …… 17
1.5 Вимоги ярого ячменю до грунтів та живлення……. 19
1.6 Сорти ярого ячменя…….. 20
1.7 Обробіток грунту під ярий ячмінь…….. 24
1.8 Сівба ярого ячменя……
1.9 Удобрення ярого ячменю…….. 27
1.10 Догляд за посівами ярого ячменю …….. 28
2 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПОВОЇ ЗОНИ…… 30
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ…… 33
3.1 Сучасний стан моделювання формування врожаю ярого ячменю ……. 39
3.2 Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур…….. 39
3.3 Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву…… 43
3.4 Моделювання водного режиму рослинного покриву…… 49

3.5 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин…… 52
3.6 Моделювання росту рослин…… 54
4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ……... 61
4.1 Сценарії викидів парникових газів та їх вплив на зміни клімату…… 61
4.2 Моделювання та оцінка впливу кліматичних змін на формування продуктивності ярого ячменю…… 65

ВИСНОВКИ 85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... ... 88
ДОДАТОК……. 90

ВСТУП

Найбільш вразливою галуззю економіки України до зміни клімату та його коливання є сільське господарство. Оскільки урожайність сільськогосподарських культур значною мірою залежить від коливань клімату та тепло- та вологозабезпеченості рослини. На швидкість біохімічних процесів, ріст і розвиток, на продовольчу безпеку України значною мірою впливає зміна термічного режиму та режиму зволоження.

Найважливішою проблемою XXI ст. є вирішення продовольчої проблеми. Воно є вирішальним чинником соціальної стабільності світової спільноти. Погіршення світової продовольчої проблеми зумовлено перевагою зростання населення над темпами зростання виробництва продовольства, та різким зменшенням таких ресурсів як орнопридатні землі, запаси прісної води, джерела енергії. Зменшення розмірів орних земель, неприступність для багатьох держав таких елементів індустріальних технологій, як хімізація, іригація, комплексна механізація, призводять до дестабілізації і навіть зниження виробництва життєво важливих сільськогосподарських продуктів. Особливо складним є положення із зерном. Головний продукт сільського господарства забезпечує не тільки продовольчі потреби людини, але і найцінніший фураж для тварин [4].

Ярий ячмінь вирощують в Україні як продовольчу, кормову й технічну культуру. Але за обсягом використання продукції з ярого ячменя в народному господарстві він є перш за все однією з цінних зернофуражних культур, та є значною часткою в балансі концентрованих кормів. Солома ярого ячменю цінується у тваринництві як грубий корм, особливо сортів з гладенькими остюками (1 ц якої прирівнюється до 36 корм.од.), і запарена полова. Вирощують ячмінь на зелений корм і сіно у сумішах з ярою викою, горохом, чиною, високоякісний урожай яких часто досягає 250 – 300 ц/га. Ячмінь є важливою продовольчою культурою. Із зерна скловидного

крупнозерного дворядного ячменю виробляють перлову та ячмінну крупу, у складі якої міститься 9 – 11 % білка, 82 – 85 % крохмалю [3, 7]. У крайніх районах СНД із зерна ячменю виробляють борошно, яке використовують як домішку до пшеничного або житнього борошна при випіканні хліба. Чистий ячмінний хліб містить малу кількість клейковини, тому хліб виходить малооб'ємним та швидко черствіє. Зерно ячменю використовують для виробництва пива. Найбільш цінними в пивоварінні є сорти дворядного ячменю з добре виповненим і вирівняним зерном (маса 1000 зерен 40 – 45 г), яке має понижену плівчастість (8 – 10 %), підвищений вміст крохмалю (за стан- дартом не нижче 63 – 65 %) і понижений – білка (не більше 9 – 10 %). За даними деяких дослідників, має значення не стільки кількість, скільки якість білка. Якщо в ньому багато сірки, то він не впливає негативно на якість пива, а при малому вмісті в зерні білка (7 – 8 %) пиво погано піниться, що знижує його споживчу якість. Найбільш цінні сорти пивоварного ячменю в Україні в Лісостепу, на Поліссі, а також у передгірних районах Карпат (Івано-Франківська, Львівська, Закарпатська області). Мають значення і відходи пивоваріння, які використовують для відгодівлі тварин (барда, пивна дробина). Із зерна ячменю виготовляють сурогат кави, екстракти солоду, які використовують у кондитерській, спиртовій і фармацевтичній промисловості[12].

Метою магістерської кваліфікаційної роботи було вивчення впливу агрометеорологічних умов на продуктивність ярого ячменю, оцінки агрокліматичних ресурсів Південого Степу при вирощувані цієї культури.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– дати кількісну оцінку впливу агрометеорологічних умов на темпи розвитку рослин;

– експериментально вивчити вплив агрометеорологічних умов на продуктивність ярого ячменю;

– виконати розрахунки агрокліматичних показників за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 та проаналізувати умови росту та розвитку ярого ячменю в сучасних та майбутніх агрокліматичних умовах;

– провести чисельні розрахунки й аналіз фотосинтетичної продуктивності посівів ярого ячменю та врожаю зерна на сільськогосподарських угіддях Південного Степу.

Для виконання дослідженні використовувались матеріали спостережень за період з 1986 по 2005 роки за врожайністю ярого ячменю, фенологічні та метеорологічні спостереження по території Південного Степу та дані за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 змін клімату на період 2011-2050 рр.

1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТУРИ ТА ЇЇ ВИМОГИ ДО УМОВ ВИРОЩУВАННЯ

1.1 Ботанічна характеристика ярого ячменя

Рід ячменю - Hordeum L. - об'єднує близько 30 видів, культурним є лише один вид - ячмінь посівний (H. sativumJessen.) (2n-14), усі інші –є формами дикорослого ячменю.

Культурний вид ячменю, в залежності від кількості розвинених плодоносних колосків поділяється на три підвиди:

- Дворядний ячмінь (H. s. distichum L.), у якого на кожному виступі членика із трьох колосків розвивається з утворенням зерна один середній, а два з боків залишаються безплідними, тому колос формується з двох рядів зерен;
- Багаторядний ячмінь (H.s. vulgare L.), у якого нормально розвиваються всі три колоски на кожному виступі членика й утворюється у колосі 6 рядів зерен;
- Проміжний ячмінь (H.s. intermediumVav. et. Ort.), у якого на кожному черговому виступі членика розвивається різна кількість плодоносних колосків - від 1 до 3, а в колосі – невизначена кількість рядів зерен.

В Україні рекомендованими сортами є сорти які належать до дворядного або шестирядного підвиду.

Культурний ячмінь є однорічною ярою або озимоютрав'янистою рослиною [2, 3].

Коренева система у ярого ячменю мичкувату, яка проникає у грунт на глибину до 100 см і в ширину - до 90 см.

У культури стеблом є порожнистациліндрична соломина, заввишки 50-135 см, завтовшки 2,5- 4 мм, складається з 5-7 міжвузлів, покритевосковимнальотом, схильне до вилягання.

Листки мають розвиненені білуваті вушками, які своїми кінцями охоплюють стебло. Язичок короткий, облямівковий. Листкові пластинки завдовжки 12-25 см, завширшки 8-25 мм.

У ярого ячменя суцвіттям є дворядний або багаторядний колос незакінченого типу.

Колоски у ярого ячменю різні за будовою. У дворядного ячменю середні плодоносні, бічні - безплідні; у багаторядного - всі плодоносні [7, 10].

Зовнішні квіткові луски плодоносних колосків закінчуються зазубленимиабо гладенькими остюками, а в деяких форм ячменю – трилопатевими додатками - фурками.

На верхівці остюки можуть бути злегка зазубленими, але пальці рук вільносповзають по них зверху вниз.

Також вони можуть бути довгі (перевищують довжину колоса у 1,5 раза), середні (незначно перевищують довжину колоса) і короткі (приблизно однакові за довжиною з колосом або трохи коротші); грубі (широкі, ламаються), ніжні (тонкі, еластичні) або середньогрубі. Іноді зустрічаються безості форми ячменю.

За кількістю члеників стрижня колоса, які припадають на 4 см довжини, розрізняють ячмінь з дуже щільним колосом - понад 20 члеників на 4 см, щільним - 15-19, середньощільним - 12-14, нещільним -9-11, дуже нещільним - менше 8 члеників на 4 см стрижня [7, 12].

В залежності від щільності колоса багаторядний ячмінь поділяється на правильно шестирядний, або шестигранний, та неправильно шестирядний, або чотиригранний.

У ячменю шестигранного колос щільний і всі колоски відхилені від стрижня в боки приблизно під одним гострим кутом, утворюючи в поперечному розрізі правильний шестикутник; у чотиригранного - з трьох колосків на виступі кожного членика бічні колоска відхилені в боки від стрижня, середній притиснений до нього і колос у поперечнику набирає форму чотирикутника [2, 7].

Колос має солом'яно-жовте або чорне забарвлення

Плодомєплівчаста або гола зернівка, завдовжки 7-10, завширшки 2 – 3 мм. Маса 1000 зернівок - 30-50 г.

Усі зернівки ярого ячменю мають ромбічну або еліптичну форму, у багаторядного симетричними є лише середні зернівки на виступі членика, бічні несиметричні: трохи менші за розміром.

У борозенці нижньої частини зернівки знаходиться так звана основна щетинка - продовгувата лусочка, яка в одних сортів ячменю покрита довгими волосками (довго-волосиста), в інших – коротко волосиста повстяно опушена.

Забарвлення зернівок солом'яно-жовте, сіро-зелене або чорне.

Визначення підвидів ячменю за зерном. Як уже зазначалося, у дворядного ячменю всі зерна у колосі є симетричними, у багаторядного симетричні зерна становлять третину від загальної кількості зерен у колосі, тобто близько 33 %.

В очищеному зерні це співвідношення порушується і кількість симетричних зернівок збільшується до 44-45% [3].

Для визначення, підвиду ячменю відбирають дві проби, по 100 зерен у кожній, і підраховують кількість симетричних і несиметричних зерен. Якщо у пробі все зерно симетричне – це дворядний ячмінь. При кількості 40% і менше симетричних зерен ячмінь відносять до багаторядного, а коли у пробі кількість симетричних зерен перевищує 40%, але не досягає 100%, то у пробі знаходиться суміш дворядного і багаторядного ячменю.

Різновид ячменю визначають за такими ознаками: колір колоса, будова остюків, щільність колоса, плівчастість зерна.

Хімічний склад ярого ячменю: білка - 7-15%, вуглеводів - 65%, жиру – 2 %, клітковини - 5-5,5%, золи - 2,5-2,8%.

Фенофази, етапи генеративних органів.

Фаза – це стан рослин, який характеризує наявність певних зовнішніх ознак, відрізняється по кількісті органів, забарвленням, консистенцією. Визначають візуально і якщо 75% увійшло у ту фазу, то фаза наступила.

1. Проростання – поява на поверхні ґрунту першого листа, який покритий колеоптилем (табл. 1.1).

2. Сходи – на поверхні з'являється перший справжній листок. Швидкість проходження фази залежить від вологості ґрунту, t^0, глибини загортання насіння, механічного складу ґрунту, біологічних особливостей сорту. У ячменю сизувато-зеленого кольору, з восковим нальотом.

Таблиця 1.1 – Етапи утворення зерна

Етапи утворення зерна	Стан і стиглість зерна	Період дозрівання	Вологість зерна, %
Формування	Студенисто – рідкий стан	10-12 днів після запилення	95-80
Налив	Молочний	20-25 днів	70-65
	Тістоподібний		50-40
Дозрівання	Воскова стиглість	Початок	40-36
		Середина	35-25
		Кінець	24-20
	Повна стиглість	Початок	20-18
		Кінець	17 і менше

3. Кущіння – поява: вузлів кущення на глибині 1,5 – 3 см; вторинні корені(вузлові), які виходять із вузла кущення; пагони кущення. Стебло ще відсутнє.

Як встановив А. М. Шульгин (1940), найважливішим фактором кущіння хлібів при хорошому зволоженні є температура ґрунту на глибині залягання вузла кущіння.

4. Нижній вузол соломони – початок росту стебла в довжину. Видовження міжвузлів головного стебла.

5. Колосіння – наступає, коли колос виходить із піхви верхнього прапорцевого листка на 1/3. В цей період посилено ростуть листки, найбільша S поверхні верхнього прапорцевого листка.

6. Цвітіння – до викидання колосу. Колос знаходиться в піхві верхнього листка, тому ячмінь типовий самозапилювач.

7. Налив – проходить в декілька етапів, що представлено у табл. 1.1.

Пластичні речовини із вегетативних органів починають пересуватися у суцвіття і відкладатися в зерні у вигляді крохмалю, білка і жиру [2].

1.2 Вимоги ярого ячменю до світла

Рослини по відношенню до світла поділяються на світлолюбні та тіньовитривалі. Більша частина польових культур є чутливими до умов освітлення. Інтенсвність світла впливає на процеси росту та розвитку рослини. При недостатньому потоку сонячного світла збільшується швидкість лінійного росту, спостерігається витягування міжвузль, зменшується механічна міцність стебла. При цьому уповільнюється диференціація клітин і формування листків [7, 20, 24].

Регулюючи довжину дня можна змінювати строки цвітіння та плодоношення. В залежності від реакціїї на тривалість світлового дня рослини поділяються на три групи: рослини короткого світлового дня, рослини довгого світлового дня, нейтральні рослини.

Оптимізація світлового режиму для культурних рослин у польових умовах здійснюється за допомогою регулювання густоти рослин, розміщення рослин на площі, орієнтування рядків посіву з півночі на південь, знищення бур’янів в посівах та ін.

Ярий ячмінь за характером розвитку належить до рослин довгого світлового дня. Він є найбільш скоростиглою культурою серед ярих зернових, деякі сорти його дозрівають за 75 днів. Успішно його вирощують у північнх районах СНД завдяки короткому вегетаційному періоду. На півдні, південномузаході, де світловий день коротший, вегетаційний період ячменю триває 105 - 115 днів.

1.3 Вимоги ярого ячменю до тепла

Для своєї життєдіяльності рослинам потрібна різна кількість тепла. Також для кожної рослини існують свої оптимальні, мінімальні і максимальні температури. За вимогливістю до тепла польові культури умовно поділяють нахолодостійкі і теплолюбні.

Ярий ячмінь є культурою невибагливою до тепла. Проростання ярого ячменя починається при температурі 1-2°С. Сходи та молоді рослини витримують заморозки до 3-4°С, а інколи до мінус 7-9°С. При такому зниженні температури листя може загинути, але вузол кущення зберігається і після підвищення температури рослини відростають і продовжують вегетацію. Сприятливою для рослини у період вегетації є температура 18°С. Ячмінь характеризується високою стійкістю проти високих температур, витримуючи підвищення їх до 38-40°С. За такої температури продихи в листках та інших органах ячменю паралізуються лише через добу або півтори доби (25- 35 год.), тоді як у ярої пшениці – вже через 10-17 год настає їх параліч, а у вівса – навіть через 5 год. Тому посіви ярого ячменю і поширені далеко на південь [7, 20, 24].

По данимм А.П. Федосеєва [28] в Степовій зоні найбілша тривалість періода сівба – всходи ярого ячменю спостерігаються при температурах нижче 6 – 8^0С. Зростання температури вище 10^0С призводить до зменшення періоду сівба – всходи до 10 – 12^0С. В Лесостеповій зоні та прилеглих до неї

областей на сіріх лісних грунтах при низьких температурах повітря всходи з’являются в сухі весни в середньому за 20 – 22 днів, при недостатньому зволожені грунту – на 24 – 28 днів. На фоне високих температур повітря наибільш благоприемні умови для сходів тут складаються в вологи весни (сходи появляються через 5 – 7 днів), менше благоприємні – в сухі, тоді сходи з’являются через 7 – 10 днів після сівби [28] .

Поточні погодні умови надто сильно впливають на сільське господарство. Можна сказати що українська аграрна промисловість, майже серед усіх країн світу, потерпає найбільше від таких змін клімату.

За аостанні 10 років погодні умови та клімат загалом надто змінилися. Вченні відмічають, що починаючи з 1989 року, в Україні спостерігається практично безперервний період потепління.

Можна сказати, що за тридцятирічний період до 1990-х років вчені фіксували окремі факти перевищення норми середньорічних температур у 7-8°С. Вже наступні 30 років відзначалася стійким перевищенням багаторічних показників майже до 9°С.

А.І. Керівним, Б.П. Тарлінской і ін. [27] було доведено, що низька температура чинить негативний вплив на схожість насіння в діапазоні 3 - 40С вище мінімальної температури зростання тієї чи іншої культури. За даними А.І. Коровіна до несприятливих температур в період появи сходів ячменю відносяться мінімальні температури нижче 60С.

Нами оцінювалися ступінь сприятливості агрометеорологічних умов в період формування сходів ярого ячменю.Як було зазначено вище, найбільше значення мали останні 10 років. Це були роки, за які перевищення середньорічної норми температури становило до 10°С, а середній показник перевищення склав 2°С. Щоб порівняти, пропоную згадати Паризьку кліматичну угоду 2015 року (ратифікована Україною у 2016 році) передбачає перевищення глобальної температури до 2°С по відношенню до показників до індустріальної епохи.

По відношенню до ячменю – кліматичні зміни стали фатальними. Кліматичні строки посіву ярого ячменю постійно скорочуються – сіяти його, коли ґрунт прогрівається до 15°С взагалі немає сенсу. Усе через те, що ярий ячмінь потребує довгого періоду вегетації при низьких температурах. Для отримання врожаю потрібно мати 30-40 діб з середньою температурою повітря не вище 17°С. Такий період в Україні уже майже не спостерігається, а це значить що посіви ячменю будуть і надалі скорочуватись.

Оптимальна температура, для ячменю, перевищує норму, що призводить до завчасного формування генеративних та репродуктивних органів рослин. Замість звичайних 4-5 стеблин з колосами, рослина «вистрілює» всього одним стеблом з усіма негативними наслідками для врожайності [5].

1.4 Вимоги ярого ячменю до вологи

Вода регулює температуру рослини. Процес випаровування через листки запобігає перегріванню рослини. Випаровування води рослинами називається транспірацією. Завдяки транспірації в клітинах виникає велика сила, що забезпечує переміщення води від коренів до листків.

С. А. Вериго [26] сделан вывод о том, что когда во время кущения средние за декаду запасы продуктивной влаги в слое почвы 0—20 см наблюдаются меньше 10 мм, состояние посевов резко ухудшается. Некоторое ухудшение посевов в этот период наблюдается обычно в случаях, когда средние за декаду запасы продуктивной влаги в слое почвы 0—20 см бывают меньше 20 мм.

Випаровування води переважає над надходженням води з грунту, що призводть до втрати тургору рослини, як наслідок зниження продуктивності фотосинтезу, посилення процесів фотосинтезу, гідролізу органічних речовин, порушення узгодженості дії ферментів [12, 24].

Показником потреби рослини, протягом вегетаційного періоду, у воді є транспіраційний коефіцієнт — кількість води, яка необхідна для утворення одиниці сухої речовини. Кількість грамів сухої речовини, що утворюється при випаровуванні 100 г води, називається продуктивністю транспірації.

Залежить транспіраційний коефіцієнт від освітлення рослн, температури навколишнього середовища, вологості повітря та грунту, забезпеченість поживними речовинами та швидкості вітру. Цей показник дає можливість оцінювати вимогливість рослини до вологи. Потреба рослин у воді в різні періоди росту неоднакова. Існують періоди коли рослина втрачає більшу кількість води, що називається критичним періодом. Це періоди інтенсивного росту рослин та утворення репродуктивних органів. Найбільша потреба у воді у різних рослин припадає на різні періоди. Зернові формують вегетативну масу і генеративні органи за рахунок опадів першої половини літа.

Найбільш посухостійким серед хлібів першої групи є ярий ячмінь. Транспіраційний коефіцієнт якого становить близько 403 з коливанням від 300 до 450, що також впливає на його поширення на півдні.

Щоб насіння ярого ячменя проросло потрібно 45-50% води від його сухої маси, що значно менше, ніж для насіння пшениці й вівса. Також потрібно враховувати, що в ячменю коренева система, на посатку вегетації, розвивається недостатньо, в наслідок чого рослини погано витримують весняні посухи. Через таку особливість ярого ячменя, не можна відтягувати строки сівби, бо це може зумовити зрідженість посівів, та недружне проростання.Через що ячмінь рекомендується сіяти в перші дні весняних польових робіт, у досить вологий грунт.

Під час виходу в трубку, колосіння, цвітіння і початку формування зерна ярий ячмінь вимогливий до вологи, це є його критичні періоди. Але і надлишок опадів при високих температурах на багатих на поживні речовини ґрунтах викликає надмірне кущіння, інтенсивне наростання біомаси, що

спричинює вилягання. Ячмінь є стійким до повітряних посух, порівняно з пшеницею та вівсом [3].

1.5 Вимоги ярого ячменю до грунтів та живлення

Ярий ячмінь є вимогливим по відношенню до грунтів.Під час росту в рослину швидко надходять поживні речовини.Через три тижні після появи сходів рослини містять майже половину поглиненого фосфору і 2/3 калію, хоча органічної маси до цього часу накопичується менше 1/5. Також їхня вимогливість до грунтів обумовлюється біологічними особливостями, зі слабо розвиненою кореневою системою, яка погано засвоює воду та мінеральні речовини. Найбільш високі врожаї ячменю отримують на родючих грунтах з глибокиморним шаром і нейтральною реакцією грунтового розчину. Хорошими грунтамидля ячменю є чорноземи.Слабо опідзолені грунт серед дерново-підзолистих є найбільш сприятливими. Супіщані і піщані грунти без внесення добрив для ячменю малопридатні. Також поганими для ярого ячменю є кислі грунти.Грунти з підвищеною кислотністю, які пригнічують життєздатність мікроорганізмів, необхідно вапнувати.Деякі сорти, що сформувалися на кислих грунтах, можуть давати непогані врожаї, але за умови забезпечення гарним режимом харчування протягом всього періоду вегетації [7, 11, 12].

Грунти, на яких планується вирощувати ярий ячмінь повинні бути однорідними за вмістом поживних речовин, вологоємності і водопроникності. Для отримання високих врожаїв важливо забезпечити рослини на початку вегетації достатньою кількістю легкодоступних поживних елементів.

Відгукується добре ячмінь на азотні, фосфорні та калійні добрива. Зі збільшенням забезпеченості рослин азотом поліпшується розвиток

вегетативної маси, підвищується кущистість, збільшується площа листової поверхні рослин, вміст хлорофілу в листі, зростає белковость зерна.

1.6 Сорти ярого ячменя

В Україні створено багато сортів ячменю ярого з комплексом господарсько цінних ознак, які можуть повністю задовольнити потреби сільськогосподарського виробництва. Виробникам усіх форм власності селекціонери можуть запропонувати високоінтенсивні, інтенсивні і напівінтенсивні сорти з широким потенціалом урожайності та якості зерна, адаптовані до конкретних умов вирощування. Більшість сортів за сприятливих умов можуть забезпечувати дуже високу врожайність, але за несприятливих значно її знижувати, що свідчить про невірний підбір сортів. Щоб цього уникнути, слід максимально використовувати рекомендації регіональних науково-дослідних установ – оригінаторів сортів та центрів наукового забезпечення сільського господарства.

Існує понад 70 сортів ярого ячменю, який вирощується в різних кліматичних зонах [3, 7, 17].

В Україні допущено для вирощування більше 40 сортів ярого ячменю, із них найбільш поширені: Аскольд, Одеський 100, Харківський 99, Бібос 1, Діна, Донецький 4, Єрофій, Ілінецький 43, Зазерський 85, Ризик. Внесені в Держреестр нові сорти: Візит, Гонар, Мамлюк, Нутанс 642, Ельф, Зерноградський 813, Задонський 8, Карлсберг 11, Нутанс 553, Носівський 6, Південний, Сигнал, Скіф, Віконт, Тюрінгія, Уніон Цезар.

Нутанс 106 виведений у Всесоюзному науково-дослідному селекційно-генетичному інституті; різновид нутанс. Зерно велике - маса 1000 зерен 43-44 г. має хорошу оцінку кулінарних якостей крупи. Стійкий до вилягання та осипання. Середньостиглий. Слабо уражується курній головешок і

борошнистою росою; шведською мухою пошкоджується середньо. На сортодільницях Одеської області дає по 30-45 ц з 1 га.

Нутанс 244 виведений у Всесоюзному науково-дослідному селекційно-генетичному інституті; різновид нутанс. Зерно велике - маса 1000 зерен 50-52; пленчатость низька - 8-9%. Середньоранній, середньо посухостійкий. Поражаемость хворобами середня. Рослини добре кущаться, що забезпечує високу їх продуктивність. На багатьох сортодільницях України щодо врожаю перевищував кращі районовані сорти на 3-8 ц з 1 га.

«Вакула» стійкий до змін місця і клімату. Маса зерна – 0,046-0,052 р. При частих дощах і поливах, може збільшитися до 0,060 р. Білка в складі мало, низька плівчастість. Врожайність 50-90 ц/га. Не рекомендується загущати посіви – це знизить врожайність.

«Геліос» при рясних і своєчасних поливах дає хороший, якісний урожай. Період вегетації 90-93 дня. Маса отримуваного зерна – 0,048-0,050 р. Врожайність 89 ц/га.

«Дункан» сорт ячменю канадської селекції. Має сильний, дужий стебло, стійкий до пролеганию і перестою. Маса зерна 0,049 в середньому. Врожайність – 80 ц/га. Норма висіву насіння – 2-2,2 млн насінин на гектар. Не рекомендується загущати.

«Приазовський 9» – один з кращих сортів ярого ячменю. Відрізняється стійкістю до посухи, борошнистої роси, шкідників, карликової іржі. Дозріває за 80-82 дня. Стебло щільний, рівний, не пролягає. Врожайність невелика – 42-63 ц/га, але повністю окупається якістю одержуваного продукту. Маса кожного зернятка – 0,045-0,055 р. [16, 17].

У цю ж категорію входять: «Красноуфимский», «Донецький 4», «Лофант», «Зевс», «Маргарет», «Омський 89», «Поволзький 65», «Марні», «Адапт» [12].

Одеський 100 Середньостиглий, стійкий до полягання, середньо-засухостійкий, має широку екологічну пластичність, гельмінтоспоріозу Пивоварний.

Донецький 8 Крупнозернистий, середньостиглий, засухостійкий, володіє широкою екологічною пластичністю, сприйнятливий до курної головні й гельмінтоспоріозу. Високобілковий (до 15%). Особливо коштовний сорт.

Новий сорт - Ельф, особливо коштовний пивоварний сорт, рекомендований для вирощування у багатьох регіонах; сорт Зерноградський 813 (середньостиглий, вегетаційний період 76-86 днів, має середню стійкість до полягання й посухи, стійкий до борошнистої роси й карликової іржі, середньо стійкий до твердої й курної головні, врожайність в середньому 3,02-6,04 т/га зерна при умісті білка 12,1-13,6%) рекомендований для південних районів [5].

«Козак» – посухостійкий сорт і відзначається високопродуктивною витратою вологи на створення одиниці органічної речовини. Проте на початку вегетації в недостатньо розвинена коренева система і рослини погано переносять весняні посухи. Тому запізнення з сівбою може спричинити недружне з’явлення сходів і сповільнення розвитку рослин на пізніших фазах росту. Під час виходу в трубку, колосіння, цвітіння і початку формування зерна сорт вимогливий до вологи, але надлишок опадів за високих температур на багатих на поживні речовини ґрунтах викликає надмірне кущіння, інтенсивне наростання біомаси, що спричинює вилягання. Сорт ячменю ярого має високу повітряну посухостійкість, порівняно з пшеницею та вівсом, і більшу стійкість до високих температур і запалів. Вищі урожаї формуються на ґрунтах з високою водо утримуючою здатністю, нижчі — на ґрунтах, що погано зв’язують вологу.

В Україні, ЄС, Російській Федерації, Канаді, США, Австралії та інших країнах з розвинутим пивоварним виробництвом основним шляхом поліпшення ячменю є селекція. За умови широкого вивчення особливостей пивоварних та солодових властивостей різних сортів ячменю слід враховувати, що на придатність до пивоваріння будь-якого сорту ячменю дуже впливають умови вирощування. Пивоварні сорти ячменю, окрім загальних до усіх сортів вимог, повинні мати ще ряд сортових особливостей,

від яких залежить вихід екстракту: високий вміст у зерні крохмалю, низькі – вміст білка та плівчастість (рис. 1.1). До того ж на вихід екстракту впливають технологія вирощування та грунтово-кліматичні умови регіону.

Від сорту ячменю, регіону та погодних умов вирощування залежить вміст у пиві диметилсульфіду (DMS), який надає пиву неприємний запах вареної кукурудзи [3, 7]. В умовах більш жорсткого, ніж у Західній Європі, клімату більшості зон України слід акцентувати увагу на вирощування вітчизняних пивоварних сортів, які адаптовані до місцевих умов.

Рисунок 1.1 – Основні вимоги до сучасних сортів ячменю ярого

Головним показником, що характеризує якість зерна пивоварного ячменю, є екстрактивність: чим вона вища, тим більший вихід пива. Під екстрактивністю ячменю розуміють кількість сухих речовин зерна, які за певної температури води під впливом ферментів солодової витяжки переходять у розчинний стан. Найважливішою та найціннішою частиною зерна для високого виходу екстрактивних речовин є крохмаль.

Важливо також, щоб зерно було вирівняним: це забезпечує під час замочування рівномірне намокання і проростання. Зерно має проростати швидко (за три доби), а схожість має бути не нижчою за 95 %, що є

економічно важливими показниками. До того ж зерно, яке проростає повільно, може уражати пліснявий гриб, що негативно впливає на якість пива. Солод з великою кількістю непроростих зерен погано оцукрюється, сусло з нього має низький кінцевий ступінь зброджування та дає пиво поганої якості. Для приготування світлих сортів пива найпридатніші ячмені з низьким вмістом білка. Ячмінь із підвищеним вмістом білка можна використовувати для приготування пива темних сортів, але його переробка потребує тривалішого замочування, нижчої температури і подовження часу пророщування. Переробка такого ячменю дуже трудомістка, що збільшує виробничі витрати [2, 3].

1.7 Обробіток грунту під ярий ячмінь

Ярий ячмінь є вимогливим до обробітку грунту. Грунт під ярий ячмінь має бути чистим від бур'янів, нещільним. На щільних ґрунтах погано розвивається коренева система ячменю, жовкне листя, що знижує продуктивність рослин [11, 20, 24].

Ячмінь, після всіх попередників добре реагує на зяблеву оранку. При розміщенні його після зернових культур чи однорічних трав є можливість провести лущення стерні. На полях, засмічених однорічними бур'янами, вистачає одного лущення дисковими лущильниками (ЛДГ-10; ЛДГ-15) на глибину 6-8 см. У випадку сильного забур'янення через 2-3 тижні проводять повторне лущення на глибину 10-12 см дисковими боронами (БДТ-7). Лущення можна з успіхом замінити внесенням універсальних гербіцидів (раундап, гліфоган та ін.) після відростання бур'янів. Особливо ефективні ці препарати у боротьбі з багаторічними бур'янами (пирій, осот).

Якщо попередником ячменя є кукурудза, поле дискують важкими боронами БДТ-7 і проводять зяблеву оранку. Глибина оранки, де проведено 1-2 лущення, становить 20-22 см. При наявності осоту глибину оранки

збільшують до 25-27 см. Оптимальними строками зяблевої оранки є друга половини вересня - перша або друга декада жовтня.

На важких та перезволожених ґрунтах до чи після оранки на зяб рекомендується глибоке чизелювання або щілювання на 40-50 см.

Якщо попередниками були цукрові буряки або картопля, то після їх збирання поле орють на глибину 20 - 22 см. Замінити оранку поверхневим обробітком можна після картоплі, за умови легких за механічним складом грунтах. У зоні Степу, за даними багатьох досліджень, оранка, плоскорізний чи поверхневий обробіток майже рівноцінні за впливом на формування врожаю ячменю, як після просапних культур, так і після інших попередників.

У зоні Лісостепу переважає безполицеве розпушування ґрунту, а в західній частині, що є більш зволоженою, більш доцільна оранка, в перш за все як ефективний захід у боротьбі з бур'янами. Заміна звичайно рекомендованого обробітку на 20 – 22 см, мілким на 12 – 14 см, не забезпечує сталих позитивних наслідків і здебільшого себе не виправдовує. В жодному разі не слід допускати проведення весняної оранки. Це призводить до втрати вологи, запізнення зі строками сівби а, отже, до зменшення врожайності та зростання собівартості зерна. Якщо лишилося поле до весни необробленим, доцільніше з економічної точки зору провести пряму сівбу спеціальними сівалками.

Грунту повинен бути виконаний на глибину загортання насіння в передпосівний обробіток.

Під ранні ярі зернові, передпосівний обробіток грунту починається при його фізичному достиганні. Рано навесні, як тільки ґрунт перестає мазатися, на полях, які швидко пересихають, з метою закриття вологи слід провести боронування і шлейфування зябу впоперек оранки. Площі, які будуть засівати в першу чергу, зразу ж культивують і готують до сівби без попереднього закриття вологи шляхом боронування.

Ярий ячмінь погано реагує на переущільнення і перезволоження ґрунту та нестачу в ньому кисню. Особливо важливим для ярого ячменю є вибір

оптимального стану вологості ґрунту. На перезволожених ґрунтах з важким механічним складом в умовах затяжної прохолодної весни для покращення аерації, прискорення прогрівання та активізації мікробіологічних процесів необхідне глибоке розпушування (8 - 12 см) з наступним доведенням ґрунту до посівного стану. Якщо на зяб виорано плугами, застосовують культиватори типу КПС-4; на плоскорізному зябу - використовують голчасті борони (БИГ-3; БМШ-15) або лущильники з плоскими дисками (ЛДГ-10А). Для остаточного доведення ґрунту до посівного стану найкраще використати комбіновані агрегати типу комбінатор ЛК-4, Європак та ін.

У зоні Степу проведення передпосівної культивації через 4-5 днів після ранньовесняного боронування призводить до великих втрат вологи, що зменшує польову схожість і врожайність зерна. Тому сіють у цій зоні зразу вслід за закриттям вологи, не допускаючи пересихання верхнього шару ґрунту.

На легких ґрунтах за відсутності опадів головним за передпосівної підготовки ґрунту є збереження і нагромадження вологи, добре розпушення ґрунту. Цього можна досягти шляхом мінімального обробітку.

На полях, чистих від післязбиральних решток, можна використати дуже простий агрегат із послідовно з'єднаних важких, середніх та легких борін. На гірше вирівняних площах необхідно застосовувати голчасті борони в агрегаті з котками та зубовими боронами. При використанні культиваторів типу КПС-4 обов'язково коткують ріллю. Найкращу якість підготовки ґрунту до сівби дає використання сільськогосподарських машин класу "Компактор", ЛК-4 чи "Європак".

У всіх зонах за високої вологості ґрунту на передпосівній підготовці його не допускається використання енергонасичених колісних тракторів класу Т-150К і особливо К-700.

Передпосівний обробіток ґрунту виконується впоперек до напрямку сівби або під кутом до неї. Розрив у часі між передпосівним обробітком і сівбою не повинен перевищувати 0,5-1 год [7].

1.8 Сівба ярого ячменя

Сіють ячмінь відсортованим, очищеним, кондиційним насінням високих репродукцій, яке відповідає вимогам держстандарту. Перед сівбою насіння ячменю ярого протруюють від сажок, кореневих гнилей, пліснявіння способом інкрустування, використовуючи препарати згідно з Переліком пестицидів, дозволених до використання в Україні або їх аналогами. Сівбу необхідно завершити не пізніше другої декади квітня навіть в умовах пізньої весни [2, 3, 5].

Ячмінь потрібно висівати вузькорядним або звичайним рядковим способом із міжряддями 15 см у ранні строки, як тільки ґрунт досягне фізичної стиглості і піддається якісному обробітку. Кожний день запізнення із сівбою після настання оптимального строку призводить до зниження урожайності внаслідок втрати вологи ґрунтом, більшого пошкодження шкідниками, прискорення розвитку рослин. Запізнення із сівбою на 5-7 днів сприяє зменшенню урожаю в умовах України на 4-6 ц/га, у посушливі роки - на 10-14 ц/га, а в пивоварного ячменю підвищується плівчастість зерна, зменшується його крупність і знижується вміст крохмалю.

На полях із високим агрофоном норма висіву сучасних сортів становить 4,5 млн шт. схожих насінин на 1 га. Оптимальна глибина сівби при сприятливих умовах 2-4 см. На легких ґрунтах сіяти необхідно на 1-2 см глибше. При запізненні із строком сівби і мілкому загортанні насіння посіви обов'язково необхідно прикоткувати для кращого контакту насінини з ґрунтом і надходження вологи з глибини ґрунту. Слід пам’ятати, що глибоке загортання насіння послаблює процеси росту, значно продовжує період проростання, а частина паростків не досягає поверхні ґрунту і пошкоджується гнильними мікроорганізмами. Мілке ж загортання насіння знижує його польову схожість, внаслідок чого сходи нерівномірні. При інтенсивному вирощуванні ячменю під час сівби створюють постійні технологічні колії. Обов’язково проводять післяпосівне прикочування ґрунту

кільчасто-шпоровими котками (ЗККШ-6), особливо в посушливі роки. Воно зменшує висихання ґрунту на глибині загортання насіння, прискорює його проростання. Це сприяє появі повних і дружніх сходів. Завдяки післяпосівному коткуванню створюються кращі умови для більш раннього утворення вторинної кореневої системи та кращого розвитку рослин [5, 12].

1.9 Удобрення ярого ячменю

Насамперед система удобрення ярого ячменю залежить від попередників. Він здатний використовувати післядію органічних і мінеральних добрив, що вносились під попередник. Існують ситуації в яких під ярий ячмінь можна взагалі не вносити добрива, якщо він висівається після добре удобрених просапних культур (цукровий буряк, картопля), під які внесено 40-50 т/га гною і мінеральні добрива в межах $N_{80}P_{80}K_{80}$ - $N_{120}P_{120}K_{120}$. При таких умовах, та при відповідному догляді ярий ячмінь здатний формувати 40-50 ц/га зерна [12, 14, 20].

Сприяє збільшенню кущистості рослин, прискорює достигання, підвищує якість зерна, запобігає виляганню внесення фосфору. Норма внесення фосфору коливається в межах від 40 до 100 кг/г д.р.

Відповідно, при поганому забезпеченні попередників-коренеплодів, добривами, потрібно буде вносити додаткове живлення для ярого ячменя.

За умов достатнього зволоження ячмінь добре реагує на внесення добрив. При внесенні мінеральних добрив, приріст врожаю може досягати 15-20 ц/га. Правильне співвідношення поживних елементів запобігає виляганню рослин.

Норма внесення калію коливається від 60 до 120 кг/га д.р. Внесення калію сприяє формуванню більш налитого зерна, підвищує стійкість рослин до ураження хворобами, стійкість соломини до вилягання, та допомагає краще витримувати посуху [14].

Повну норму фосфорних і калійних добрив у зоні Степу, Лісостепу, Полісся вносять під основний обробіток ґрунту.

У зоні Степу азотні добрива вносять одноразово. Підживлення азотом, у першій половині вегетації не збільшує врожайність. Азотні добрива, щобули внесені восени, не вимивається на важких зв'язних ґрунтах зони Степу і ефективно використовується рослинами у весняно-літній період вегетації.

При удобренні ячменю необхідно дотримуватися таких правил:

1) На родючих ґрунтах (чорноземи, темно-сірі та ін.) для одержання 40 – 50 ц/га зерна ячменю після добрих попередників необхідно вносити $N_{45-60}P_{45-60}K_{45-60}$

2) На бідніших ґрунтах (дерново-підзолисті, світло-сірі і т.д.) норму добрив збільшують до $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$.

3) При вирощуванні ячменю після гірших чи малоудобрених попередників норму добрив підвищують на 25-30%.

4) Норма добрив для сортів ячменю, схильних до вилягання, не повинна перевищувати $N_{60}P_{60}K_{60}$. Високопродуктивні, чутливі на добрива і стійкі до вилягання сорти забезпечують максимальні врожаї з підвищенням доз добрив до $N_{90}P_{90}K_{90}$- $N_{120}P_{90}K_{90}$

5) Після добре удобрених органічними і мінеральними добривами просапних культур під ярий ячмінь добрива можна не вносити.

6) На меліорованих торфових землях калію вносять 80-100 кг/га, фосфору 30-50 кг/га д.р. і 15-20 кг/га мідного купоросу. Азот в невеликій кількості (N_{15-20}) вносять тільки на сильно мінералізованих торфовищах.

7) При вирощуванні пивоварного ячменю, а також при підсіві багаторічних бобових трав, дозу азотних добрив зменшують на 25-30 %. Вона не повинна перевищувати після удобрених просапних культур N_{30}, а після інших попередників - N_{60}.

8) Дози добрив і строки внесення азоту визначають залежно від родючості ґрунту, попередника, гідротермічних умов року, рівня удобрення та біологічних особливостей сортів [14].

На високому агрофоні, норма внесення азоту має бути в межах 45 – 60 кг/га д.р. Після малоцінних попередників та на ґрунтах з відносно низькою родючістю зростає до 60 - 80 кг/га д.р. При цьому на відміну від озимих культур, 50 % загальної норми азоту необхідно обов'язково внести до сівби. Найкраще розкинути добрива незадовго до передпосівного обробітку і загорнути їх у верхньому шарі, оскільки азот швидко вимивається у глиб ґрунту. Решту азоту необхідно вносити на IV етапі органогенезу для підвищення озерненості колоса [7].

1.10 Догляд за посівами ярого ячменю

Інтенсивна технологія передбачає постійне спостереження й вживання необхідних заходів із догляду за посівами з дня посіву й до збирання. До заходів догляду відносяться післяпосівне коткування ґрунту, боронування по сходах, боротьба з бур'янами, захист рослин від хвороб і шкідників. Коткування ґрунту сприяє поліпшенню її теплового й водного режимів, підвищує польову схожість насіння й густоту стояння рослин, активізує розвиток кореневої системи. Коткування проводять в агрегаті із сівалкою. Якщо ґрунт вологий і налипає на ковзанку, накочувати поле треба через день після посіву. В окремі роки при утворенні ґрунтової кірки ефективно до сходове боронування. Боронування посівів ячменю у фазі кущіння – захід, що дозволяє боротися з утворенням ґрунтової кірки, із бур'янами [3, 7, 14].

Особливо ефективне боронування в суху весну: мульчування поверхні ґрунту, зменшує втрати ґрунтової вологи, послабляється можливість утворення на поверхні ґрунту тріщин. Боротьба з бур'янами. Крім агротехнічних заходів (сівозміна, обробка ґрунту, потокове збирання), роль яких повинна зростати, позитивні результати дає застосування гербіцидів. Якщо в посівах переважають однолітні дводольні бур'яни (лобода біла, гірчиця польова, грицики звичайні й ін.), застосовують агрітокс (1,0 –

1,5 л/га). При наявності в посівах стійких до похідних 2,4 -Д бур'янів (ромашка не пахуча, підмаренник чіпкий, гірчак, щириця закинута й ін.) для боротьби з ними ефективний базагран (2 – 4 л/га) або бюкстріл Д (1,25 – 1,5 л/га). На полях, засмічених вівсюгом, навесні до посіву вносять ґрунтовий гербіцид глісол, гліфоган 400, нормою 4,0 – 6,0 л/га із негайним закладенням боронами БИГ-ЗА, БМ.Ш-15 і лущильниками типу ЛДГ-10, ЛДГ-15 або противівсюжним агрегатом ОП-3200. Найбільш доцільно обробляти посіви гербіцидами у фазі повне кущіння — початок виходу в трубку ячменю. Дозу гербіциду на 1 га розчиняють у 50 л води при авіаобробці й у 200 – 300 л при наземному обприскуванні.

Захист рослин від шкідників і хвороб. Агротехнічні заходи (сівозміна, лущення стерні, ранній зяб, знищення бур'янів і падалиці, ранній посів, підбор стійких сортів і ін.) сприяють зменшенню поширення шкідників і хвороб рослин. У період вегетації рослин боротьбу зі шкідниками проводять з урахуванням економічних порогів шкідливості, а з хворобами – при прояві їх на рослинах [15, 16, 18].

Для захисту посівів ячменю у фазі кущіння від злакових мух, злакових попелиць, що перезимували шкідливої черепашки і хлібної смугастої блохи ефективне обприскування Бі-58 новим к. е. (1,0 – 1,2 л/га), бульдоком, к. е. – 0,25 л/га, золоном, 35 % к. е. (1,5 л/га), дизином, 60% к. е. (0,5 – 1,5 л/га). Проти п’явиці червоногрудої при її чисельності більшій 10—15 жуків на 1 м ^{2} або однієї личинки на рослину найбільш ефективна обробка посівів золоном, 35 % к.е. (1,5 л/га) або ф’юрі 10 % в.е. (0,07 л/га). У фази формування й наливу зерна для захисту посівів ячменю від личинок шкідливої черепашки й трипсів застосовують бульдок, к. е. (0,25 л/га), волатон, 50 % к.е. (0,8 л/га) [5, 15, 16].

Найбільш поширеними хворобами ячменю ярого серед грибкових є сажкові, борошниста роса, гельмінтоспоріозна плямистість та інші. Зокрема, сажкові хвороби ячменю є найпоширенішими та найбільш шко- дочинними серед інфекційних хвороб ячменю ярого і представлені трьо- ма видами:

летюча, кам‘яна і чорна. Недобір урожаю від летючої сажки визначається не тільки прямими, але й прихованими втратами. У сортів дворядного ячменю приховані втрати у 5−6 разів більші від прямих, а у багаторядного – у 10 разів. Такий високий рівень прихованих втрат зумо- влено декількома факторами: збільшенням частки дрібного насіння, зни- женням абсолютної маси насіння, польової схожості та кущистості, більшим ураженням інфікованих ослаблених рослин хворобами іншими. Кам‘яна (тверда) сажка поширена у всіх зонах України, більш інтенсивне ураження (0,1 – 0,3 %) спостерігається у Харківській, Полтавський, Вінницькій, Кіровоградській областях [10]. Беручи до уваги велику енергію розмноження та шляхи міграції сажкової інфекції, слід визнати, що стратегічним напрямом селекції на стійкість до ураження збудниками сажкових є групова стійкість до усіх трьох видів. Борошниста роса широко поширена та дуже шкодочинна хворо- ба в усіх зонах культивування ячменю ярого; в умовах достатнього вологозабезпечення зниження врожаю через хворобу може сягати 30 % і більше, маси 1000 зерен – 39 % [11, 12]. В Україні борошниста роса поширена найбільше у Поліссі і західних регіонах. У Західній Європі борошниста роса є найшкодочиннішим захворюванням для ячменю. Порогом шкодочинності тут вважають ураження посівів до 20 %. Сітчаста плямистість поширена в усіх зонах вирощування ячменю, особливо за достатнього зволоження [15, 16, 18].

2 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПОВОЇ ЗОНИ

Степова зона в межах території України утворилася після відступу четвертинного Дніпровського зледенінняі накопичення лесових гірських порід внаслідок збільшення континентальності клімату. Зональні риси природних умов степової зони визначаєїї розміщення на півдні Східноєвропейської рівнини в межах різних тектонічнихструктур та форм рельєфу [1] .

Український степ має рівнинний рельєф, проте неоднорідний. Південно-західна, центральна і кримська частини степів розташовані на Причорноморській низовині. На сході Причорноморська низовина межує з Приазовською низовиною. На півночі степова зона охоплює південні окраїни Придніпровської височини та Придніпровської низовини. На північномузаході до цієї зони підходять південні відгалуження Подільської височини. На сході степової зони знаходиться Донецький кряж і Приазовськависочина (рис. 2.1). Клімат степової зони помірно континентальний. Так, середні значеннярічної сумарної кількості сонячної радіації змінюються від 4100 МДж/м^{2}на півночі до 5230 МДж/м^2 на півдні, а річний радіаційний баланс становить 1800 – 1850 МДж/м^2, завдяки чому зона має найбільші теплові ресурси.

Безморозний період триває 160 – 220 днів. Пересічна температура липня становить +20…+24 ^{0}С, а в січні вона сягає –2…–8 ^{0}С. Сніговий покрив у степу нестійкий, зима із частими відлигами. Степова зона розміщується на південь від осі підвищеного атмосферного тиску (осі Воєйкова), що вплинуло на характер атмосферної циркуляції та кількості опадів. Незважаючи на переважання західного перенесення повітряних мас, велику роль тут відіграють східні та північно-східні кон тинентальні вітри.

Тому річна кількість опадів незначна і змінюється від 450 мм на півночі до 300 мм на півдні.

Рисунок 2.1 – Фізико-геогрфічне положення Степової зони України

Більша частина поверхні степової зони складена лесами і лесоподібними суглинками, які є основою формування чорноземів, у межах річкових долин – пісками, на височинах – давніми гірськими породами: гранітами, гнейсами та вапняками. Тому ґрунтовий покрив степової зони характеризується відносною строкатістю. Зональними типами ґрунтів є чорноземи, які охоплюють близько 90 % площі зони, та каштанові. На окремих ділянках трапляються солонці. Степові чорноземи мають високу природну родючість. У степовій зоні інтенсивно розвиваються негативні природні процеси: водна і вітрова ерозія, просідання гірських порід, засолення ґрунтів або їх заболочення в заплавах річок. У результаті недбалої господарської діяльності виникають явища вторинного засолення і вторинної ерозії [1].

Степові ландшафти сформувалися в умовах жаркого клімату з нульовим або від'ємним балансом вологи. За особливостями ландшафтів, умовами зволоження і тепловим балансом, характером ґрунтового покриву і природної рослинності степова зона поділяється на три підзони: північно степову, середньостепову, південностепову (сухостепову). У північно та південностепових підзонах виділяють ландшафтні краї. Північностепова підзона охоплює значну територію зони степу та включає різнотравно-ковилові та лучні степи на чорноземах звичайних. Зважаючи на це, підзона майже повністю перетворена на сільськогосподарські угіддя. Первісні цілинні степи збереглися лише у філіях Українського степового заповідника – «Кам'яні могили» та «Хомутовський степ». У сухих балках і ярах трапляється деревна рослинність: дуб звичайний, клен, ясен, липа та чагарники: шипшина, глід. Це байрачні ліси, або байраки.

Залежно від кількості тепла й вологи підзона поділяється на чотири фізико-географічних краї (Дністровсько-Дніпровський північностеповий, Лівобережно-Дніпровсько-Приазовський, Донецький і Задонецько-Донський) та 10 фізико-географічних областей [1].

Середньостепова підзона, яка представлена одним Причорноморським середньостеповим краєм, об'єднує низовинні та схилово-височинні ландшафти, що сформувалися в умовах значного дефіциту вологи на чорноземах південних, під типчаково-ковиловими степами і різнотрав'ям.

У зоні степу трапляються невеликі зони байрачних лісів та чагарників. Північною межею підзони є лінія суцільного поширення чорноземів типових, а південною – межа цих чорноземів і каштанових ґрунтів.

Південностепова підзона охоплює найпівденнішу частину Причорноморської низовини, Присивашшя і рівнинний Крим. Кліматичні особливості підзони охарактеризовано в самій її назві. Межею підзони єпочаток по ширення сухостепових ландшафтів з типчаково-ковиловими іполиново-злаковими степами на каштанових ґрунтах, часто засолених. Ціґрунти сформувалися під полиново-злаковими степами з ковилою,

типчаком, полинами. На південь від сухостепового Присивашшя з'являються південностепові ландшафти, які поширюються до передгір'їв Кримських гір. У межах підзони вирізняється Причорноморсько-Приазовський сухостеповий край і Кримський степовий край. Причорноморсько-Приазовський край – це рівнина з абсолютними позначками рельєфу 10–50м такоефіцієнтом зволоження – 0,33. У таких умовах сформувалися горбистіі низовинні степові ландшафти з переважанням посухостійкої рослинностіна каштанових ґрунтах у комплексі із солонцями і солончаками, а такожерозійно-балкові, заплавні прибережно-морські місцевості.

Кримський степовий край характеризується розміщенням далі на південь зональних середньостепових ландшафтів, поширенням щебенюватих ґрунтів, значною неоднорідністю геолого-геоморфологічної будови. У північній частині краю виділяють прибережно-лагунні напівпустельні полинні, лучні солонцюваті й солонцеві рівнинні ландшафти з типчаково ковиловими степами на каштанових ґрунтах. На півдні ж відбувається зворотний до загальних закономірностей розподіл ландшафтів, що пояснюється підвищенням абсолютної висоти місцевості. Тут переважають низовинно-височинні та горбисто-пасмові ландшафти, подібні до середньо степових із чорноземами південними і каштановими солонцюватими ґрунтами [1].

Ландшафтну структуру її складають переважно рівнинно-подові місцевості з чорноземами південними солонцюватими, темно-каштановими і каштановими ґрунтами в комплексі з солонцями, ерозійно-балкові, заплавні прибережно-морські місцевості.

Кримська степова провінція охоплює Північнокримську рівнину. Для провінції характерні щебенюваті ґрунти, неоднорідна геологічна і морфологічна будова, різноманітні ландшафти. У межах Кримської степової провінції виділяють Присиваško-Кримську низовинну, Тарханкутську, Центральнокримську височинні і Керченську горбисто-пасмову області. Присиваško-Кримська низовинна область займає північну частину

рівнинного Криму, прибережно-лагунні і напівпустельні полинові, лучні, солонцюваті і солонцеві місцевості з пересипами і косами, приморські рівнинні ландшафти з типчаково-ковиловими степами на каштанових ґрунтах; хвилясті місцевості з ковилово-типчаковими і ковилово-різнотравними степами на темно-каштанових солонцюватих ґрунтах.

Тарханкутська височинна область, що розташована на однойменному півострові, помітно виділяється в рельєфі. Для неї характерні своєрідна ярусність ландшафтів, поширення привододільних, останцевих, балкових, долинних і приморських місцевостей [1].

У ландшафтній структурі Центральнокримської височинної області переважають місцевості привододільних рівнин з чорноземами малогумусними карбонатними, межирічних рівнин з чорноземами південними і темно-каштановими солонцюватими ґрунтами, приморсько-терасових рівнин, прибережних схилів, долин і балок. У ландшафтній структурі Керченської горбисто-пасмової області поєднуються пасмово-платоподібні, грязьово-вулканічні, улоговинні, балкові, лучно-солянкові і напівпустельні, прибережні, піщано-степові і солонцеві місцевості.

Природними передумовами утворення степів є поєднання кліматичних і біологічних факторів. Клімат маєпоєднувати зволоження достатнє для росту трав з недостатнім зволоженням товщі ґрунту, що не дає розвиватися деревам. Подібні умови складаються за нечастих або ж нетривалих дощів. Головним біологічним фактором є наявність великої кількості пасовищних тварин, які настільки активно об'їдають рослинність, що подібний тиск витримують лише трави. Тобто розуміння степу як місцевості де дерева взагалі не ростуть є неправильним. Антропогенний вплив протягом тисячоліть, а саме випас тварин та вирубка лісів призвели до значного розширення степової зони. Сучасні дослідження свідчать, що наприклад в Україні степи є виключно антропогенними і розвинулися починаючи з 3 тисячоліття до н. е. До того часу зона лісостепу доходила безпосередньо до чорноморського узбережжя. «Сучасного» вигляду степи

набули в перші сторіччя н. е. Невеликі заповідні ділянки українського степу без впливу людини та без пасовищних тварин заростають кущами та деревами втрачаючи власне степовий вигляд [1].

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

3.1 Сучасний стан моделювання формування врожаю ярого ячменю

Розробка теорії фотосинтетичної продуктивності посівів стимулювала інтенсивний розвиток робіт з моделювання продукційного процесу рослин, серед яких особливий інтерес для практики представляють длінноперіодні динамічні моделі формування врожаю. Моделювання дозволило узагальнити значну кількість даних, що відображають вплив факторів зовнішнього середовища на ряд найважливіших процесів життєдіяльності рослин, складна сукупність яких являє собою процес формування врожаю. Динамічні моделі продуктивності дозволяють відтворити ефект впливу агрометеорологічних умов на основні показники фотосинтетичної діяльності посівів і реально оцінити ступінь цього впливу. Такий підхід виявився особливо плідним. На цій основі відкрилася можливість приступити до створення методів оцінки агрометеорологічних умов зростання сільськогосподарських культур, прогнозування їх врожайності [8, 9, 22].

В Україні значні розробки по створенню методів оцінки агрометеорологічних умов і прогнозуванню врожайності сільськогосподарських культур виконані в рамках створеного В.П Дмитренко [9] направлення на основі запропонованої ним моделі врожайності сільськогосподарських культур. У роботах В.С. Антоненко [6], В.С. Антоненко і Н. І. Гойса запропонована параметрозаційна модель формування врожаю озимої пшениці в Україні в період весняно-літньої вегетації, в пізнішій роботі В.С. Антоненко [6] запропонована динамічна модель зростання, розвитку та формування продуктивності озимої пшениці, яка описує весь життєвий цикл культури, «від насіння до насіння».

Детальна модель енерго- і масообміну в системі рослина - атмосфера і продуктивності посіву SPAM наведена в роботах Стюарта і Лемона, Аллена та ін. У цій моделі листя також розділені на класи по освітленості, фотосинтез листа враховується формулою Шартьє. Вперше врахована залежність устічного опору від радіації. Детально враховані турбулентність, режим CO_2 посіву та опір прикордонного шару листа r_a. Модель добре сполучати з результатами експериментів на посіві кукурудзи, з її допомогою проведено велику кількість чисельних експериментів для визначення денного ходу фотосинтезу і з'ясування ролі радіації.

У цю модель введений фонд асимілянтів, і зростання розглядається як незалежний процес. Більш детально дихання, розподіл асимілянтів, концентрація фонду вуглеводів і зростання розглянуті в моделях Торнлі. Їм вперше включений в модель фонд азоту як регулятор росту. У перші комплексні длінно періоні динамічні моделі були представлені в роботах. У цих моделях вперше введений водний потенціал листа ψ_L як фактор, що регулює устячний опір, причому ψ_L сам визначається емпірично через водний потенціал ґрунту. Враховано темнове дихання по окремим органам. Динаміка фонду асимілянтів управляє зростанням органів в денний і нічний час. Для моделювання росту введено біологічний час, яке виражається через температурні суми. Модель зіставлена з експериментами на посіві кукурудзи.

Для зернових культур найбільш повно розроблена Галямін [8] та ін. модель ярої пшениці. Фотосинтез листя, стебел і класів розглядається в моделі як функція ФАР, температури повітря і вологості ґрунту. Для розрахунку динаміки біомаси окремих органів рослин і опису процесу формування асиміляційної поверхні запропонована відповідна система рівнянь. Розподіл асимілянтів – напівемпіричної з урахуванням зміни співвідношення надземної і підземної біомаси залежно від особливостей мінерального живлення. Проведено чисельні експерименти при різних рівнях мінерального живлення і зволоження ґрунту.

Дещо в іншому плані побудована модель ярої пшениці розроблена в Нідерландах [20]. Розраховується потенційна денна продуктивність всієї рослини на одиницю площі поверхні ґрунту в залежності від загальної потенційної продуктивності (у стандартних умовах) з урахуванням опорів листкової поверхні парам води і CO_2 в реальних умовах. Потім розраховується накопичення сухої біомаси на підставі даних про продуктивність при оптимальному водопостачанні і співвідношення фактичної і потенційної евапотранспірації. Модель представляє інтерес для оптимізації зв'язків між щільністю рослин в посіві, водопостачанням і продуктивністю і районах зрошуваного землеробства.

У моделях ярого ячменю [21 - 23] (СНД) для розрахунку приросту біомаси використано 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'єднанні, поглинання азоту регулюється виходячи з принципу оптимальних доз, введена поправка на постачання азотом в ростові функції. Проведено чисельні експерименти з моделлю. Розроблена в Японії модель ярого ячменю також містить блоки фотосинтезу , дихання і розподілу асимілянтів (емпіричне).

У запропонованій А. І. Столяровим математичної моделі процесу формування врожаю озимої пшениці фотосинтетична, продуктивність цієї культури розглядається як функція ФА, 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.

За різницею між фотосинтезом і диханням визначається суха біомаса в моделі фотосинтетичної продуктивності озимої пшениці в (СНД). Розподіл асимілянтів проведено на підставі ростових функцій Росса.

У США розроблено дві моделі для озимої пшениці. У першій, призначеної для аридної зони, швидкість накопичення сухої біомаси

розглядається прямо пропорційною вже наявної сухої 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 довжини дня і температури).

Моделі формування врожаю озимої пшениці, озимого жита, ярої пшениці, ярого ячменю і вівса розроблені А.Н. Польовим і викладені в роботах [21 - 23].

Кукурудза. У роботі Галямін та ін. запропонована динамічна модель продукційного процесу кукурудзи для задач оптимізації водного режиму. Для розрахунку біомаси кукурудзи, вирощуваної на силос, запропонована система рівнянь, що описують динаміку біомаси надземних органів, площі листкової поверхні і вологозапасів активної зони ґрунту. Відомий фотосинтез розрахований залежно від ФАР.

У моделі зростання кукурудзи (США) описані: фотосинтез як функція ФАР, температури, концентрації CO_2 і площі листа; дихання як функція швидкості фотосинтезу, температури та біомаси (окремо для листя, стебел і коренів); евапотранспірації з урахуванням аеродинамічного опору і опору покриву. Через евапотранспірації враховується вплив вологості ґрунту на фотосинтез. Розподіл асимілянтів - емпіричний Проведено чисельні експерименти при різних рівнях двох параметрів - інтенсивності світла і приросту площі листа.

В. Сплінтер (США) розробив модель кукурудзи для конкретної місцевості (шт. Небраска). Накопичення сухої біомаси розраховується протягом усього періоду росту, причому, суха біомаса, накопичена після цвітіння (оцінюється на основі суми температур), вважається біомасою зерна. У основі моделі - балансове рівняння.

У моделі кукурудзи SIMACO, розробленої в Італії, зроблена спроба розподілу резервів вуглеводів, утворюються при фотосинтезі, між органами рослини залежно від швидкості їх зростання.

В основу моделі покладено базова динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур по більш детальному обліку впливу волого-температурного режиму на процес фотосинтезу і комплексної оцінки впливу на ріст і формування репродуктивних органів таких експериментальних явищ як посуха і суховії по М.С. Кулику [14] і У.А. Цубербіллер, полягання посівів по А.Д. Пасечнюк [20], «стікання» зерна за І.В. Свисюку.

У роботі А.М. Польового і М.І. Кульбіди [22] запропоновано моделювання формування врожаю озимої пшениці в період весняно-літньої вегетації в Україні.

3.2 Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур

Процес формування врожаю представляє складну сукупність багатьох фізіологічних процесів, інтенсивність яких визначається біологічними особливостями рослин, факторами навколишнього середовища, взаємозв’язком між самими процесами.

Прикладні динамічні моделі продуктивності сільськогосподарських культур описують процеси фотосинтезу, дихання, росту і вміщують три біологічні блоки: фотосинтез, дихання, ріст, а також блок перетворення початкової агрометеорологічної інформації – агрометеорологічний.

Базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур була розроблена А.М. Польового [21 - 24].

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 [24].

Модель складається з 8 блоків (рис. 3.1):

1. Блок вхідної інформації.
2. Блок радіаційно-теплового режиму рослинного покриву.
3. Блок водного режиму рослинного покриву.
4. Блок фотосинтезу.
5. Блок дихання і старіння рослин.

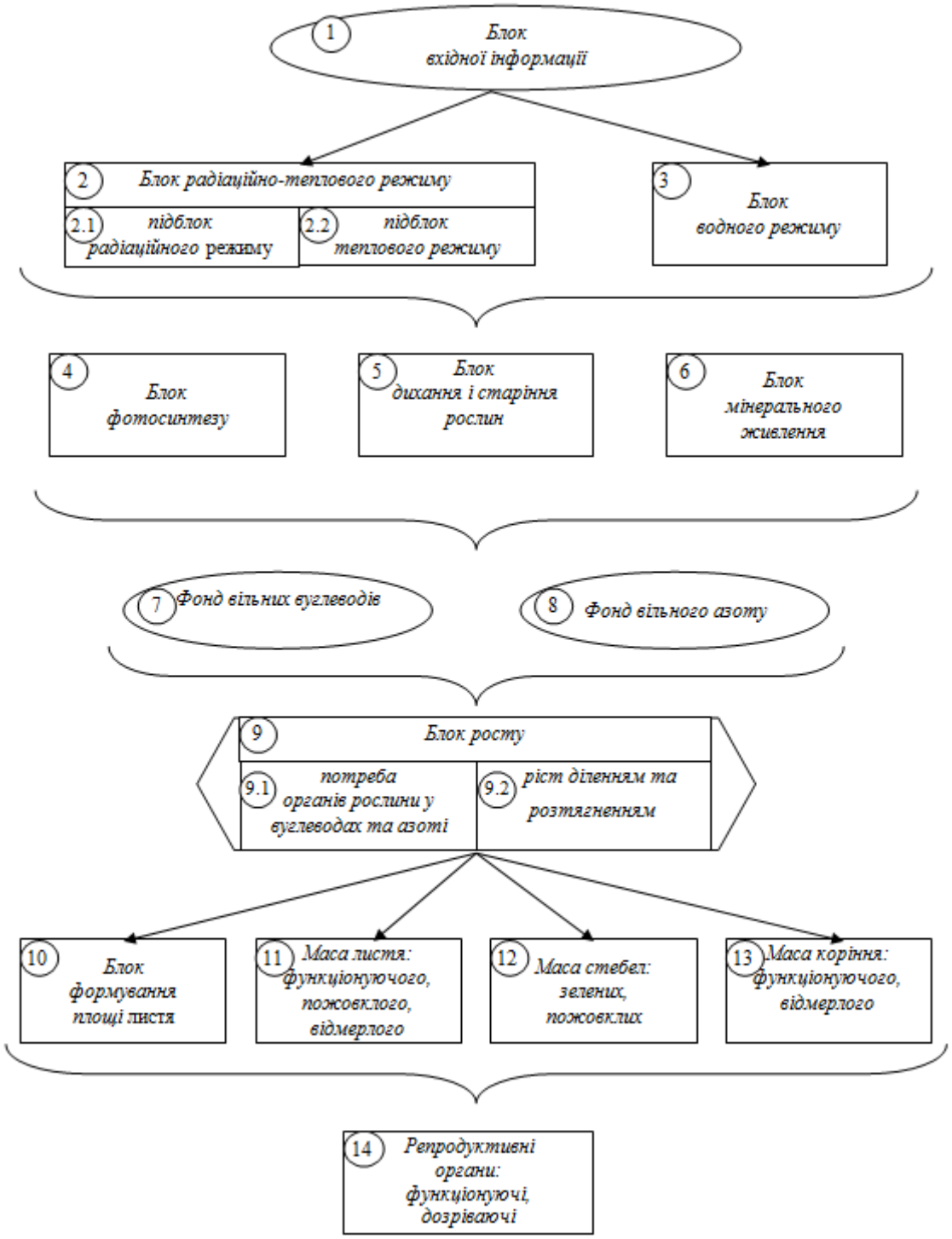

Рисунок 3.1 - Блок-схема базової динамічної моделі формуванняурожаю сільськогосподарських культур.

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 [39].

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:

$$Q_L = Q_o\ (1\text{-}\alpha_{LS}), \tag{3.3}$$

$$Q_S = Q_o\, a_Q\, (1\text{-}\alpha_S), \tag{3.4}$$

де Q_o - сумарна короткохвильова радіація над верхньою межею РП;

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

a_Q - функція пропускання сумарної радіації РП.

Альбедо рослинного покриву визначається за формулою

$$\alpha_{LS} = \alpha_{Lh_\circ} + (\alpha_S - \alpha_{Lh_\circ})\exp[-L(1 + ctgh_\circ / \pi)] \tag{3.5}$$

де

$$\alpha_{Lh_\circ} = \frac{0{,}4084}{1 + 1{,}1832\sinh_\circ}.$$

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

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

де α_S - альбедо поверхні ґрунту;

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

W_{SS} - вологість поверхневого шару ґрунту;

W_{WP} - вологість стійкого в'янення;

W_{FC} - найменша вологоємність ґрунту.

Функцію пропускання сумарної радіації знаходимо за формулою

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

де c_2, c_3 - емпіричні постійні;

k_S^L - емпірична постійна, що характеризує вплив геометричної структури РП на пропускання сонячної радіації [35, 34].

Величини *балансу довгохвильової радіації* визначаються за такими формулами:

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

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

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

$$F_A = \varepsilon_a \sigma T_a^4, \tag{3.10}$$

де T_a - температура повітря;

ε_a - коефіцієнт довгохвильового випромінювання, який може бути визначений за емпіричною формулою

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

Потік тепла у ґрунті приймається пропорційним радіаційному балансу поверхні ґрунту

$$B_S = c_{BS} R_S, \tag{3.12}$$

де c_{BS} - емпірична постійна.

Сумарна короткохвильова радіація визначається за формулою

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

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 грунт - корінь розглядається одночасно як для насиченого так і ненасиченого середовища

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

де ψ - потенціал тиску грунтової вологи;

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

$K(\Theta)$ - гідравлічна провідність;

Θ - об'ємна вологість;

S(ψ) - поглинання води коренями;

t - час; z - вертикальна координата.

Як початка умова (t = 0) задається

$$\psi(z, t{=}0) = \psi_o(z) \qquad (3.15)$$

За граничні умови приймається:

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

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

- на рівні грунтових вод величини $C(\psi) = 0$ і $\psi(z_{so}, t) = 0$;

- на поверхні грунту z_o (верхня межа)

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

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

де P_s - кількість опадів, які досягли поверхні грунту;

E - випаровування з поверхні грунту;

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

Кількість опадів, які досягли поверхні грунту, знаходиться як

$$P_s = P_o - P_L \,, \tag{3.18}$$

де P_o - кількість опадів, що випали;

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

$$P_L = 0{,}2\, L \,, \tag{3.19}$$

де L - відносна площа листкової поверхні (листковий індекс).

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

$$S(\psi) = \alpha_s(\psi)\, S_{\max} / \mathrm{f}_{\mathrm{depth}}^{\mathrm{root}} \tag{3.20}$$

приймаємо, що

$$S_{\max} = T_r \,, \tag{3.21}$$

де T_r - транспірація;

$\mathrm{f}_{\mathrm{depth}}^{\mathrm{root}}$ - функція розподілу коренів на глибині;

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

Транспірація рослинного покриву визначається за формулою Пенмана

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

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

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

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

$$\gamma_{ef} = \gamma \frac{r_a + r_{st}}{r_a}, \tag{3.24}$$

де γ - психрометрична постійна;

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

Опір примежового шару визначається за виразом

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

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

$$r_{st} = \frac{1}{g_n + \frac{g_x Q_o}{Q_o + p_r}} \tag{3.26}$$

де g_n, g_x, p_r - емпіричні параметри.

Випаровування з поверхні ґрунту E_S визначається як

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

Рівень грунтових вод визначається за методом Шебеко:

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

$$\Delta H_{gr.w.} = I_w / k_w \, 10 \tag{3.29}$$

або

$$\Delta H_{gr.w.} = -V_p / k_w \, 10, \tag{3.30}$$

де

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

і величина V_p знаходиться як

$$0 \le W_{PC} - (W_n + P_o - ET) \ge V_p \le V_{\max.},$$

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

I_w - інфільтрація;

V_p - розрахункове підживлення в зону аерації з грунтових вод;

W_n - початковий вміст вологи у грунті;

ET - сумарне випаровування;

$V_{\max}$ - максимально можливе підживлення в зону аерації з грунтових 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;

Ф - 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

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

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;

$K_{\Phi}(N^{L}_{str})$ - 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 гідролізуємого субстрату, швидкість розпаду може бути описана рівнянням реакції нульового порядку, а при достатньо низькому - рівнянням реакції першого порядку [40]:

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

і

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

де K^{0}_{hydr} - константа швидкості реакції нульового порядку;

K^{1}_{hydr} - константа швидкості реакції першого порядку;

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

C_{icrit} - критична кількість вуглеводів, що визначать 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

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

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:

$$\frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} = \left(1 - \beta_{root}^{mC(N)}\right) \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \tag{3.37}$$

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

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]:

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

де

$mC(N)_{l_{func}}, mC(N)_{l_{yel}}, mC(N)_{s_{gr}}, mC(N)_{s_{gr}}, mC(N)_{s_{yel}}, mC(N)_{p_{func}}, mC(N)_{p_{rip}}$ - кількість вуглеводів і азоту відповідно у функціонуючих та пожовклих листях, зелених та пожовклих 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:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{dC_i}{dt} + \frac{dN_i}{dt}. \tag{3.40}$$

Приріст стебел у висоту визначається як

$$\frac{dh_s}{dt} = \frac{dm_s}{dt}\frac{1}{\rho_s \pi r_s^2}\frac{1}{N_s}, \tag{3.41}$$

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

dm_s/dt - приріст маси стебел;

ρ_s - 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:

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

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:

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

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

Маса відмерлих коренів знаходиться за співвідношенням

$$m_{r\,mor} = \beta_{r\,mor} m_{r\,funk}, \tag{3.44}$$

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

Принципова схема прикладної динамічної моделі формування врожаю сільськогосподарських культур представлена на рис 3.1.

Блок фотосинтезу. Фотосинтез представляється формулою:

$$\Phi_o^j = \frac{k \cdot b \cdot I^j}{k + b \cdot I^j}, \qquad (3.1)$$

де ϕ_o^j – інтенсивність фотосинтезу за оптимальних умов теплоти вологозабезпеченості в реальних умовах освітлення, мгCO_2/(дм^2·г);

k – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні та нормальній концентрації CO_2, мгCO_2/(дм^2·г);

b – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу, мгCO_2/(дм^2·г);

I – інтенсивність фотосинтетично активної радіації (ФАР) всередині посіву, кал/(см^2·хв);

j – номер кроку розрахункового періоду.

Для розрахунку фотосинтезу в онтогенезі в реальних умовах середовища, які відрізняються від біологічно оптимальних, використовується вираз:

$$\Phi_\tau^j = \Phi_o^j \cdot \alpha_\phi^j \cdot \psi_\phi^j \cdot \gamma_\phi^j , \qquad (3.2)$$

де Φ_τ^j – інтенсивність фотосинтезу в реальних умовах середовища, мгCO_2/(дм^2·г);

α_ϕ^j – онтогенетична крива фотосинтезу;

ψ_ϕ^j, γ_ϕ^j – функції впливу факторів зовнішнього середовища, які представляють собою одновершинні криві.

Функції α_ϕ^j, ψ_ϕ^j, γ_ϕ^j – нормовані та змінюються від О до 1.

Сумарний фотосинтез посіву за світлу пору доби розраховується за формулою:

$$\Phi^j = \varepsilon \Phi_\tau^j L^j \tau_g^j, \qquad (3.3)$$

де Φ – денний фотосинтез посіву на одиницю площі, г/(м^2·день);

ε =0,68 – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;

L – площа листя м^2/м^2;

τ – тривалість дня, год.

Блок дихання. На відміну від процесу фотосинтезу здатність до дихального газообміну мають всі органи рослини. Витрати на дихання, пов'язане з підтримкою структурної організації тканин, і на дихання, пов'язане з переміщенням речовин, фотосинтезом та створенням нових структурних одиниць, визначаються з рівняння:

$$R^j = \alpha_R^j (c_1 M^j + c_2 \Phi^j), \qquad (3.4)$$

де R – витрати на дихання, г/м^2 ;

α_R – онтогенетична крива дихання;

c_1 – коефіцієнт, який характеризує витрати на підтримку структури;

M – суха біомаса посіву, г/м^2;

c_2 – коефіцієнт, який характеризує витрати, пов'язані з переміщенням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць;

j – порядковий номер декади розрахунку.

Блок росту. Приріст біомаси посіву визначається залишком між сумарним фотосинтезом посіву та витратами на дихання:

$$\Delta M^j = \Phi^j - R^j \qquad (3.5)$$

Для опису росту окремих органів рослин використовуються ростові рівняння у модифікованому вигляді, запропоновані Ю.К. Росом.

$$m_i^{j+1} = m_i^j + (\beta_i^j \Delta M^j - v_i^j m_i^j),$$

$$m_p^{j+1} = m_p^j + (\beta_p^j \Delta M^j + \sum_i^{l,s,r} v_i^j m_i^j), \qquad (3.6)$$

де m_i – загальна суха біомаса окремих органів $i \in l,s,r,p$ (l – листя, s – стебла, r – коріння, p – репродуктивні органи), г/м^2;

β_i – функція перерозподілу свіжих "асимілятів";

v_i – функція перерозподілу "старих" асимілятів.

Зростання площі листя посіву визначається при позитивному прирості біомаси листя з формули:

$$L^{j+1} = L^j + \Delta m_l \frac{1}{z}, \qquad (3.7)$$

де z – питома поверхнева площа листя, г/м^2.

При від'ємному прирості біомаси листя для опису росту асимілюючої поверхні вживається співвідношення :

$$L^{j+1} = L^j - \Delta m_i \frac{1}{z} \cdot \frac{1}{k_c}, \qquad (3.8)$$

де k_c=0,3 – параметр, який характеризує критичну величину зменшення живої біомаси листя, при якій починається відмирання її.

Агрометеорологічний блок. Поглинена посівом ФАР обчислюється за формулою:

$$I^{j} = \frac{I_o^j}{1 + CL}, \qquad (3.9)$$

де I_o^j – поглинена сонячна радіація, кал/(см^2/хв);

C = 0,5 – емпірична стала величина;

L – площа листя, м^2/м^2.

Потік ФАР на верхню межу посіву визначається з формули:

$$I_o^j = \frac{0{,}5Q^j}{60\tau_g}, \qquad (3.10)$$

де Q – сумарна сонячна радіація, кал/ (см^2/доб).

Сумарна сонячна радіація розраховується з формули С.І.Сівкова:

$$Q^j = 12{,}66(S^j)^{1{,}31} + 315(\sin h_o^j)^{2{,}1}, \qquad (3.11)$$

де S – тривалість сонячного сяйва, год;

h_o - полуденна висота Сонця.

Середня за світлу пору доби температура повітря розраховується з формули:

$$T_g = a_1 T_{\max} + a_o, \qquad (3.12)$$

де T_g , $T_{\max}$ – відповідно середня за день та максимальна температура повітря;

a_o, a_1 – емпіричні коефіцієнти.

4 ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ

4.1 Сценарії викидів парникових газів та їх вплив на зміни клімату

Майбутні зміни клімату є однією з найбільших проблем, що стоїть перед людством в новому столітті. Потреба в інформації про зміни клімату необхідна для того, щоб оцінити їх вплив на людину і природні системи з метою розвитку відповідних засобів адаптації і стратегії пом'якшення негативного впливу кліматичних змін на національному і навіть регіональному рівні.

Діяльність людини змінила і продовжує змінювати поверхню Землі і склад її атмосфери. Деякі з цих змін мають прямий або опосередкований вплив на енергетичний баланс Землі і, таким чином, є чинниками, що впливають на зміну клімату. Радіаційний вплив (РВ) є результатом зміни енергетичного балансу системи Земля як реакції на певні зовнішні фактори, при цьому позитивний РВ веде до потепління, а негативний РВ до похолодання кліматичної системи. Крім глобального середнього радіаційного та енергетичного впливу просторовий розподіл і часова еволюція впливу та зворотній кліматичний зв'язок також відіграють значну роль у визначенні можливого впливу різних факторів на клімат. Зміни поверхні суші можуть також впливати на локальний та регіональний клімат за допомогою процесів, які не є радіаційними за своєю природою [4, 13, 25].

Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. При цьому використовуються кліматичні моделі різних рівнів складності, від простих кліматичних до моделей перехідної складності, повних кліматичних моделей і моделей усієї Земної кліматичної системи. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв

зміни антропогенних факторів. Для нових кліматичних розрахунків, виконаних у рамках проекту Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme), використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP).

Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [13]. Слово репрезентативний означає, що кожна RCP показує лише один з багатьох можливих сценаріїв, які призвели б до отримання конкретних характеристик радіаційного впливу. Термін траєкторія підкреслює, що розглядаються не тільки рівні довгострокових концентрацій, але також і їх очікувана зміна, побудована в часі для визначення кінцевого результату. В усіх сценаріях RCP атмосферна концентрація CO_2 є вищою за сьогоднішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO_2 протягом XXI століття.

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 2,6 Вт·м$^{-2}$ для RCP2.6; 4,5 Вт·м$^{-2}$ для RCP4.5; 6,0 Вт·м$^{-2}$ для RCP6.0 і 8,5 Вт·м$^{-2}$ для RCP8.5. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу (RCP2.6); два сценарії стабілізації (RCP4.5 і RCP6.0) і сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів (RCP8.5) [4, 25]. Згідно RCP6.0 і RCP8.5, радіаційне вплив не досягає максимального значення до 2100 р., а продовжує постійно збільшуватись; в RCP2.6 цей вплив досягає максимуму і потім знижується; і в RCP4.5 він стабілізується до 2100 р. (рис. 4.1).

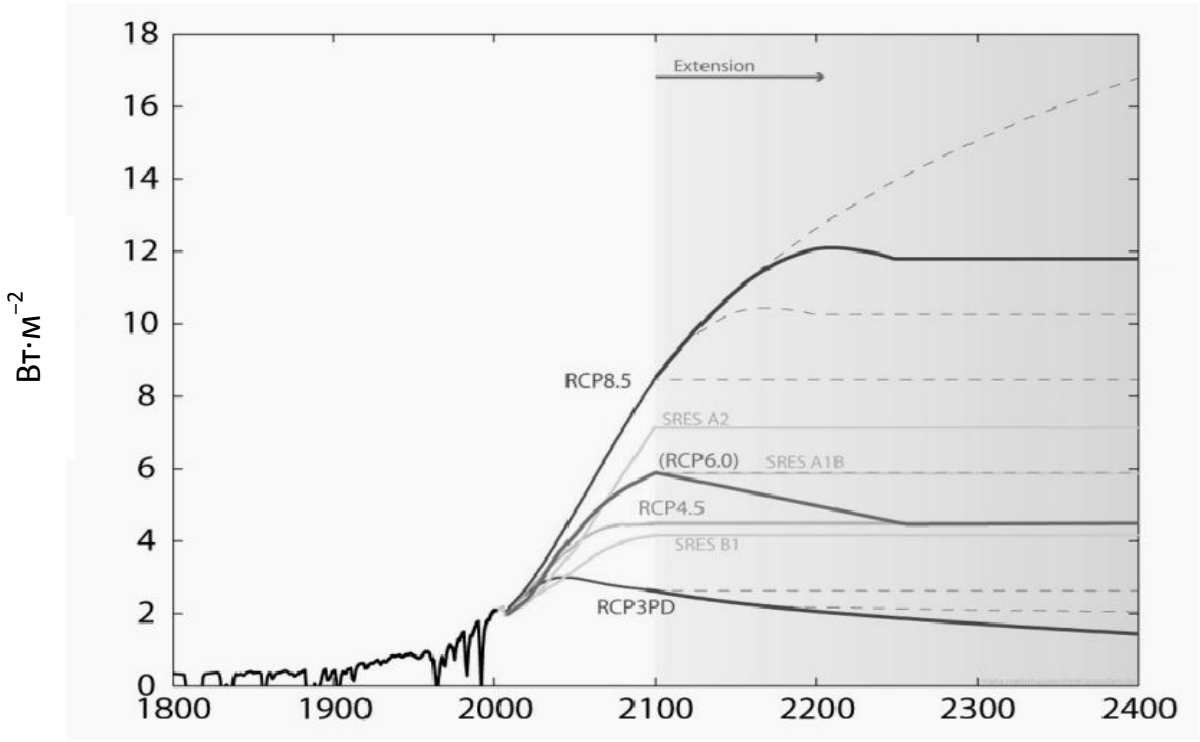

Рисунок 4.1 – Схематичне зображення радіаційного впливу (товсті лінії – рекомендовані траєкторії, пунктирні – траєкторії з врахуванням додаткових можливостей, визначених за альтернативними правилами) [13].

Таким чином, RCP можуть відображати результати цілого ряду заходів в області клімату в XXI-му столітті в порівнянні з їх відсутністю в Спеціальній доповіді про сценарії викидів (СДСВ), що використовувались в попередніх доповідях з питань зміни клімату [34]. Сценарії СДСВ були розроблені лише з використанням послідовного підходу, іншими словами, соціально-економічних, демографічних та технологічних факторів, які потім використовувалися в простих кліматичних моделях для визначення концентрацій парникових газів.

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

Сценарії RCP ґрунтуються на комбінації комплексних оціночних моделей, простих кліматичних моделей та моделей атмосферної хімії і глобального вуглецевого циклу. Хоча RCP охоплюють широкий діапазон значень сукупних впливів, вони не включають весь спектр викидів, описаних в літературі, особливо по аерозолях [13, 25].

В даній роботі при моделюванні прогностичних змін режиму температури та опадів використовувались дані експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, що створений Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей на всіх континентах в глобальному масштабі. Також CORDEX використовується для проектування клімату в регіональному масштабі, використовуючи статистичні та динамічні методи. Структура проектування клімату в межах CORDEX базується на новому наборі глобальних кліматичних моделей CMIP5. При проектування клімату CORDEX зосереджується на експериментах з використанням сценаріїв викидів – RCP4.5 і RCP8.5, які являють собою сценарії середнього та високого рівня викидів [13, 25].

Для досліджень використовувались дані гідрометеорологічних параметрів, які реалізовані в регіональній кліматичній моделі RACMO2. Модель RACMO2 поєднує в собі фізичні схеми, розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF), і динамічну основу від моделі HIRLAM [13]. Вона пристосована для використання на льодових поверхнях та включає складну схему визначення альбедо снігу. RACMO2 має 40 вертикальних атмосферних рівнів з кроком сітки по горизонталі ~ 11 км, що забезпечує високу точність отриманих результатів. Також RACMO2 виконує моделювання атмосферних полів з 6-годинною часовою дискретністю [13].

4.2 Моделювання та оцінка впливу кліматичних змін на формування продуктивності ярого ячменю

В останні роки спостерігаються істотні зміни клімату, що вимагає розробки і удосконалення існуючих систем ведення землеробства, які найбільш повно відповідають кліматичним умовам, що тепер склалися.

Починаючи з 1970-х років, посухи ставали тривалішими та охоплювали значні території. В цей період відзначалися зміни частоти екстремальних температур. Почастішали спекотні дні і ночі та гарячі атмосферні хвилі.

Протягом останнього часу проведено досить значний обсяг досліджень з вивчення впливу змін клімату в степовій зоні на продуктивність сільськогосподарських культур. Вони засвідчують, що за подальшого застосування традиційної системи ведення землеробства в регіоні може відбутися значне зниження продуктивності сільськогосподарських культур. З метою подолання негативних явищ, пов’язаних зі змінами клімату в регіоні, пропонується низка заходів, спрямованих на адаптацію землеробства до нових умов [10, 13, 19].

Внаслідок підвищення температури повітря в літній період і зменшення кількості опадів дефіцит водоспоживання істотно зріс, що посилило посушливість клімату в регіоні.

Представлений аналіз агрокліматичних показників свідчить про те, що в Південному Степу відбулося істотні їх зміни, які проявляються в такому:

– підвищується середньодобова річна температура повітря, особливо в другій половині літа;

– збільшується надходження теплових ресурсів у зв’язку зі зростанням тривалості вегетаційного періоду та суми активних температур;

– зростає кількість опадів зливового характеру;

– підвищується випаровування води з грунту за вегетаційний період;

– посилюється посушливість клімату.

Такі зміни агрокліматичних умов найбільш впливають у ранньовесняний період на ранні ярі культури, а також в осінній період на озимі культури. Так, для ранніх ярих культур (ячмінь, пшениця та інші) підвищення температури повітря в березні, квітні та травні за одночасного зменшення кількості опадів – негативний фактор. Це скорочує оптимальні строки сівби, гальмує ростові процеси та утворення вузлових коренів за швидкого наростання температури повітря і грунту та зменшення його вологості. Збільшення тривалості теплового режиму осіннього періоду є сприятливим для озимих культур. Це може розширити межі оптимальних строків їх сівби, а також створювати добрі умови для нормального розвитку рослин до припинення осінньої вегетації.

Зазначені зміни клімату вимагають удосконалення, розробки та адаптації існуючих систем ведення землеробства та технології вирощування сільськогосподарських культур у південному Степу.

Тому нами було розглянуто вплив змін клімату на вирощування ярого ячменю на території Південного Степу.

Слід зазначити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності ярого ячменю розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів культури. Для дослідження впливу кліматичних змін на темпи розвитку та формування продуктивності ярого ячменю на фоні зміни кліматичних умов нами розглядались такі варіанти:

– базовий період (1986 – 2005 рр.)

– кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм *rsp 4,5* за період 2021 – 2050 рр.;

– кліматичні умови періоду 2021 – 2050 рр. за сценарієм *rsp 4,5* (кліматична норма + CO_2;

– кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм *rsp 8,5* за період 2015 – 2050 рр.;

– кліматичні умови періоду 2021–2050 рр. за сценарієм *rsp 8,5* при збільшенні CO_2 в атмосфері.

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів були використані розроблені А.М. Польовим моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур:

– модель формування продуктивності агроекосистеми;.

– модель фотосинтезу зеленого листка рослини при зміні концентрації CO_2 в атмосфері.

Розрахунки виконувались для природно-кліматичної зони України: Південний Степ.

Слід підкреслити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності сільськогосподарських культур розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів ярого ячменю в припущенні, що вони суттєво не зміняться.

Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів розглядалась нами у розрізі основних агрокліматичних зон за різні проміжки часу. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату були використані сценарії змін клімату в Україні *rsp* 4,5 та *rsp* 8,5 :

Розглянемо як під впливом змін клімату будуть змінюватись дати настання фаз розвитку ярого ячменю, показники розвитку його по міжфазних періодах, показники фотосинтетичної продуктивності та урожай [10, 19]

Як видно із табл. 4.1 середні багаторічні терміни сівби ярого ячменю спостерігались з 29 березня в степовій зоні України.

За умов реалізації сценаріїв змін клімату rsp 4,5 та rsp 8,5, терміни сівби ярого ячменю мало відрізнятимуться за сценаріями і змістяться на більш ранні строки в порівнянні з середніми багаторічними. Відмінність у термінах настання сівби за сценаріями буде спостерігатись в Південному Степу, де за сценарієм *rsp* 4,5 вони становитимуть не більше 3 днів, а за сценарієм *rsp* 8,5 – 8 днів.

Відповідно змістяться і строки появи сходів. Сходи ярого ячменю за середніми багаторічними даними базового періоду спостерігалися 14 квітня в Південному Степу. За сценаріями зміни клімату *rsp* 4,5 та *rsp* 8,5

відхилення термінів сходів очікуються однакові за обома сценаріями і наставатимуть в терміни раніше середніх багаторічних на 4 дні.

Таблиця 4.1 – Фази розвитку ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату *rsp 4,5 і rsp 8,5*

Період	Посів	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Південний Степ					
1986-2005	29.III	14.IV	4.VI	30.VI	93
rsp 4,5	26.III	18.IV	7.VI	2.VII	98
Різниця	-3	-4	+3	+2	+5
rsp 8,5	21.III	18.IV	6.VI	3.VII	103
Різниця	-8	-4	+2	+3	+10

Наступні за сходами фази розвитку ярого ячменю колосіння та воскова стиглість за обома сценаріями наставатимуть пізніше, ніж в базовий період на 2 - 3 дні в Південному Степу. В наслідок зміни термінів настання фаз розвитку ярого ячменю зміниться і тривалість його вегетаційного періоду. Вона зросте від 93 днів (середня багаторічна) до 103 днів в Південному Степу.

Під впливом змін клімату зміняться агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю (табл. 4.2)

В період від сходів до колосіння середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями складала 13,8°С (табл. 4.2).

За сценарієм зміни клімату *rsp 4,5* від сходів до колосіння середня температура складатиме 14.3 °С в Південному Степу. Розрахунки за сценарієм показують, що в цей період очікується середня температура вище базової на +0,5°С.

Таблиця 4.2 – Агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату *rsp* 4,5 і *rsp* 8,5

Періоди розрахунку	сходи – колосіння					колосіння – воскова стиглість					Вегетаційний період	
	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування мм	випаровуваність, мм	вологозабезпеченність, відн.од	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування мм	випаровуваність, мм	вологозабезпеченність, відн. од	сума опадів, мм	вологозабезпеченність, відн.од
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Південний Степ												
1986 – 2005	13,8	65	90	155	0,78	20,1	55	44	132	0,45	120	0,62
rsp 4,5	14,3	73	95	173	0,73	21,8	34	31	111	0,38	107	0,59
Різниця	+0,5	+12%	+6%	+12%	-6%	+1,7	-38%	-30%	-16%	-16%	-11%	-5%
rsp 8,5	14,6	85	94	154	0,81	20,9	36	34	110	0,41	121	0,48
Різниця	+0,8	+31%	+5%	-1%	+10%	+0,8	-35%	+23%	-17%	-9%	-0,8%	-23%

Середня температура повітря за сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* в період сходи колосіння складатиме 14.6 °С (табл. 4.2). В Південному Степу вона буде вищою середніх багаторічних значень на 0,8 °С.

Сума опадів в період від сходів до колосіння за середніми багаторічними даними складала 65 мм.

Кількість опадів від сходів до колосіння за сценарієм *rsp 4,5* збільшиться на 12 %.

За сценарієм *rsp 8,5* сума опадів від сходів до колосіння зросте більше і буде складати 31% від середніх багаторічних сум.

Сумарне випаровування за сценаріями зміни клімату *rsp 4,5* та *rsp 8,5* збільшиться в Південному Степу на 6 % та 5% відповідно.

Як показують розрахунки за сценарієм зміни клімату *rsp 4,5* в період від сходів до колосіння випаровуваність в Південному Степу збільшиться в порівнянні з базовим значенням на 12%.

Від сходів до колосіння випаровуваність за сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* зменшиться в порівнянні з базовим на 1 % (табл. 4.2).

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів ярого ячменю від сівби до колосіння становила 0,78 відн. од. За умов реалізації сценарію зміни клімату *rsp 4,5* вологозабезпеченість посівів ячменю зменшиться на 6 %.

В період від сівби до колосіння вологозабезпеченість за сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* збільшиться до 10 % в Південному Степу в порівнянні з базовим періодом.

Середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями в період від колосіння до воскової стиглості складатиме 20.1 °С.

В період з 2011 до 2050 рр. за сценарієм зміни клімату *rsp 4,5* від колосіння до воскової стиглості середня температура збільшиться до 21,8 °С в Південному Степу, що відповідно на 1,7°С вище середньої температури базового періоду.

За сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* середня температура повітря за період від колосіння до воскової стиглості підвищиться на 0,8 °С.

В період від колосіння до воскової стиглості сума опадів становила в середньому багаторічному 55 мм. За сценарієм зміни клімату *rsp 4,5* сума опадів зменшиться на 38 %.

За сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* кількість опадів в період від колосіння до воскової стиглості зменшиться на 35 % в Південному Степу по відношенню до середньо багаторічних значень.

Сумарне випарування в період від колосіння до воскової стиглості за середніми багаторічними значеннями складатиме 44 мм в Південному Степу.

В період від колосіння до воскової стиглості за сценарієм зміни клімату *rsp 4,5 с*умарне випарування Південному Степу зменшиться на 30 %.

За сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* сумарне випарування зросте і становитиме до 34 мм.

Від колосіння до воскової стиглості випаровуваність за сценарієм зміни клімату *rsp 4,5* зменшиться в Південному Степу на 16% (табл. 4.2).

Випаровуваність в період від колосіння до воскової стиглості за сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* зменшиться в на 17 % в порівнянні з базовим значенням.

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів ярого ячменю від колосіння до воскової стиглості скадатиме 0,45 відн.од в Південному Степу. За умов реалізації сценарію зміни клімату *rsp 4,5* за період 2015 – 2050 рр. вологозабезпеченість зменшиться до 0,38 відн. од., що на 16 % менше від середньо багаторічного значення.

Вологозабезпеченість в період від колосіння до воскової стиглості за сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* зменшиться на 9 %.

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *rsp 4,5* за вегетаційний період зменшиться на 11 %.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *rsp 8,5* сума опадів за вегетаційний період в Південному Степу сума опадів буде близька до середньо багаторічних значень.

Вологозабезпеченість за умов реалізації сценаріїв змін клімату *rsp 4,5* та *rsp 8,5* зменшиться в Південного Степу на 5 % та 23 % відповідно (табл. 4.2).

Зміни агрокліматичних умов спричинять зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів ярого ячменю, що обумовить рівень його урожайності. Такими показниками будуть розміри фотосинтезуючої площі та фотосинтетичний потенціал посівів, кількісні показники приростів рослинної біомаси на одиницю площі, чиста продуктивність фотосинтезу (ефективність процесу фотосинтезу на одиницю площі листової поверхні), урожай загальної біомаси посівів та урожай біомаси зерна, коефіцієнт господарської ефективності, який показує долю урожаю господарсько-цінної частини врожаю в загальному врожаї біомаси посівів.

Розглянемо розподіл цих показників у грунтово-кліматичних зонах України при зміні кліматичних умов за сценаріями *rsp* 4,5 та *rsp* 8,5 в порівнянні з показниками фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю, які розраховані за середніми багаторічними даними (табл. 4.3).

Динаміка окремих показників фотосинтетичної діяльності наводиться на рис. 4.1 – 4.4.

Як видно із табл. 4.3 та рис. 4.1 *площа листя* в період максимального розвитку в середньому за базовий період становила 2,66 $м^2/м^2$ в Південному Степу. Розрахунки за сценаріями *rsp* 4,5 по варіанту «клімат» показують, що збільшення площі листя відбудеться за сценарієм *rsp* 4,5 всього на 3 %.

Розрахунки за варіантом «клімат + CO_2» вказують на збільшення площі листя в порівнянні із її середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат» на 13 %.

Таблиця 4.3 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату *rsp 4,5* і *rsp 8,5*

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, $г/м^2 \cdot$дек	Суха біомаса, $г/м^2$	Фотосинте-тичний потенціал, $м^2/м^2$
Південний Степ						
1986-2005	Базовий	2,66	89	174	499	114
rsp 4,5	Клімат	2,92	90	188	579	127
	Клімат + CO_2	3,08	91	202	617	133
rsp 8,5	Клімат	3,42	100	296	714	137
	Клімат + CO_2	3,69	102	324	778	150

В разі реалізації сценарію *rsp* 8,5 за варіантом «клімат» розрахунки показують, що відбудеться більш значне збільшення площі листя в порівнянні із середніми багаторічними значеннями та значеннями першого сценарію в Південному Степу – на 22%. Результати розрахунків за варіантом «клімат + CO_2» за цим же сценарієм дають можливість стверджувати, що і в порівнянні з середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат» площа листя зросте в Південному Степу – на 28 %. (рис. 4.1).

Результати розрахунків за варіантом «клімат + CO_2» за цим же сценарієм дають можливість стверджувати, що і в порівнянні з середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат» площа листя зросте в Південному Степу – на 38 %. (рис. 4.1)

За умови реалізації будь-якого із сценаріїв зміни клімату буде очікуватись більш інтенсивне формування площі асимілюючої поверхні в порівнянні з середніми багаторічними даними.

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності посівів ячменю є *суха біомаса рослин*. Середні багаторічні величини сухої маси і розрахунки її величин за варіантами наводяться в табл. 4.3, а її динаміка впродовж вегетаційного періоду на рис. 4.2.

В базовий період середні багаторічні значення сухої маси досягли в Південному Степу до 499 г/м^2.

Розрахунки сухої маси за сценаріями *rsp* 4,5 та *rsp* 8,5 показують, що як і площа листя, суха маса збільшується в усіх варіантах, але темпи збільшення в різних сценаріях різні.

Так, в разі реалізації сценарію *rsp* 4,5 у варіанті «клімат» збільшення буде в Південному Степу на 14 %. У розрахунках за цим же сценарієм у варіанті «клімат + CO_2» збільшення сухої маси буде вище в порівнянні як із середньою багаторічною, так і в порівнянні зі значеннями варіанту «клімат» і становитиме 617 г/м^2, що більше середніх багаторічних значень сухої маси на 19 % (рис. 4.2).

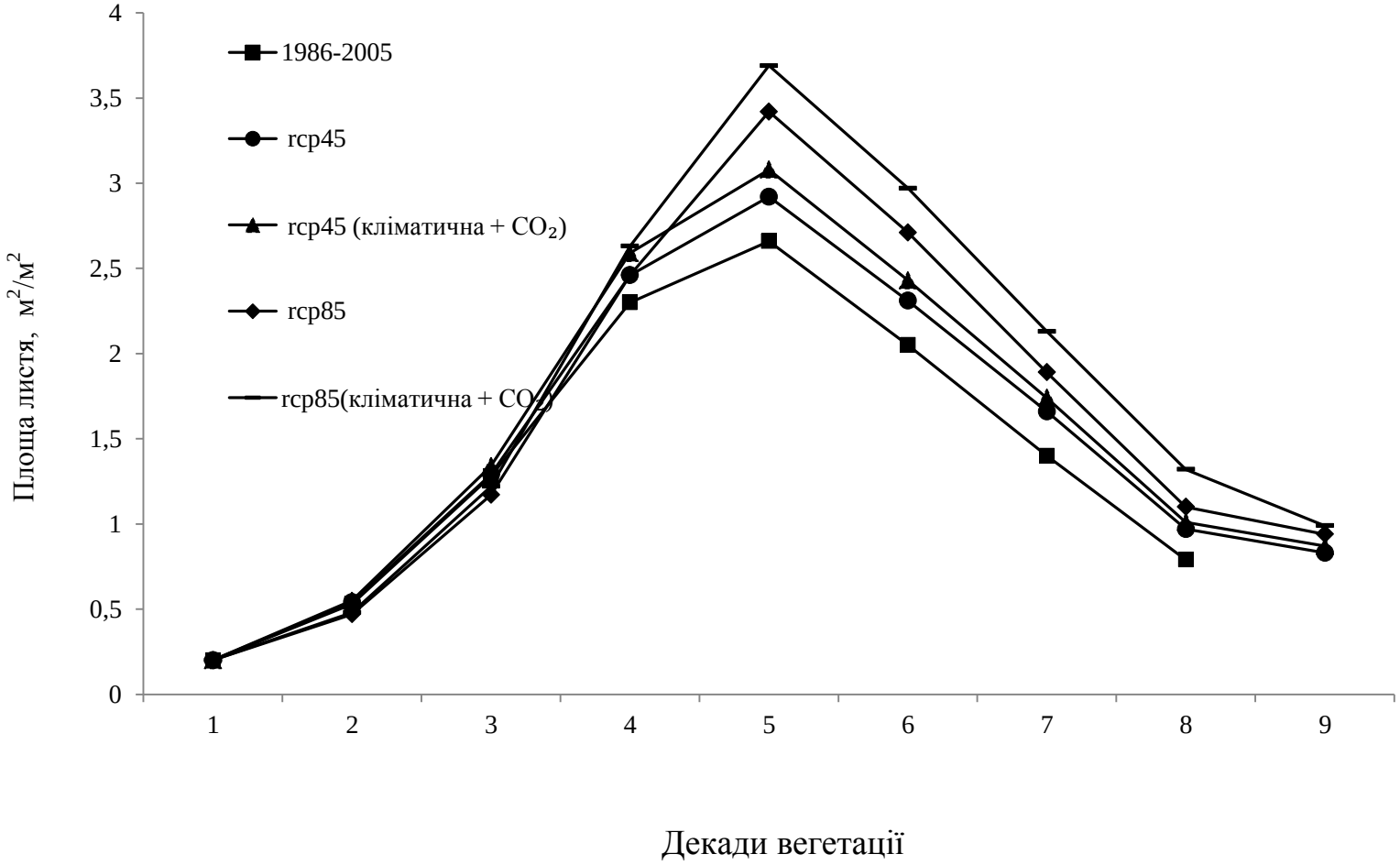

Рисунок 4.1 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *rsp 4,5 і rsp 8,5* .

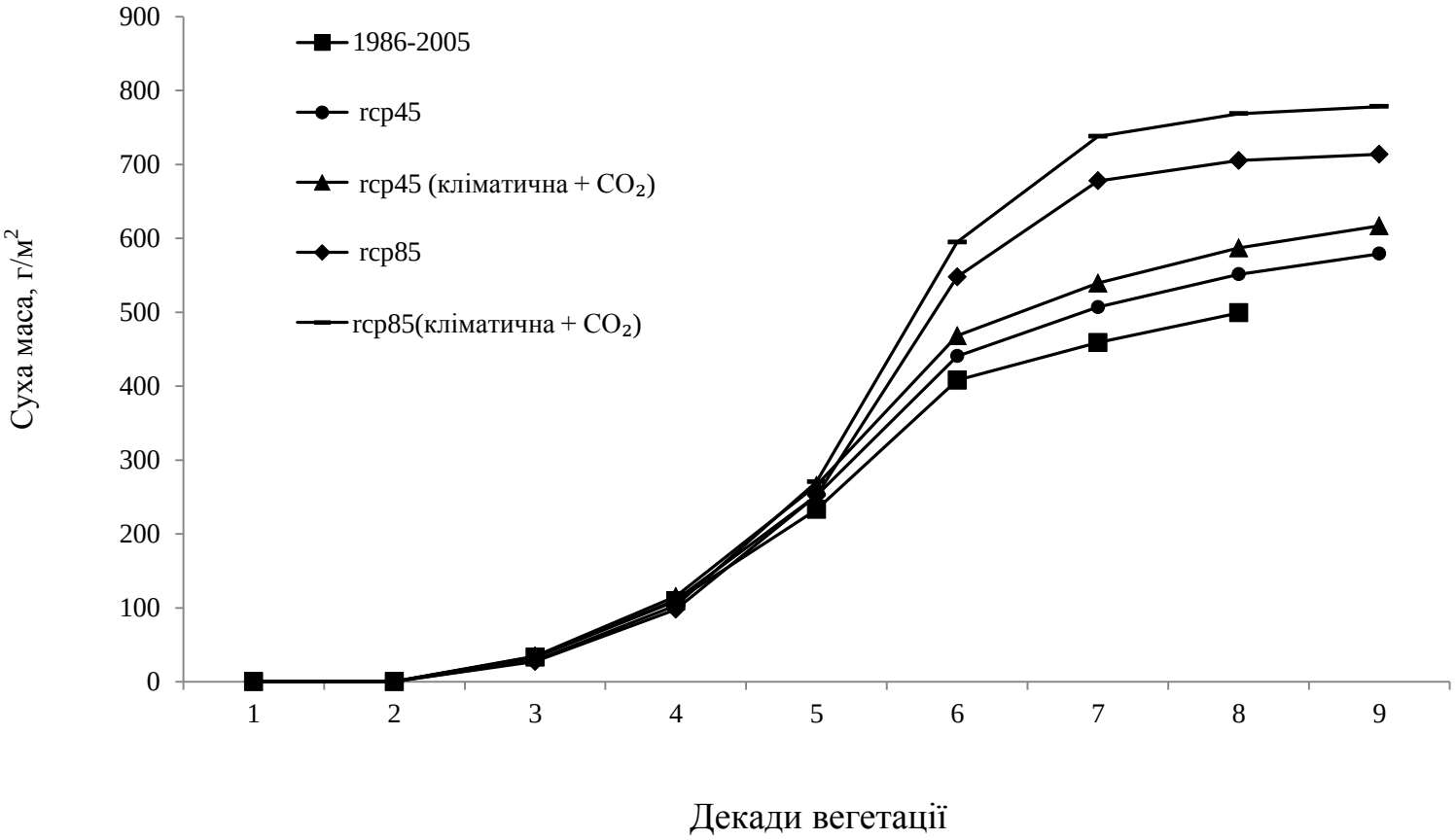

Рисунок 4.2 – Суха маса ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *rsp 4,5 і rsp 8,5* .

В разі реалізації сценарію *rsp* 8,5 розрахунки за варіантом «клімат» теж показують збільшення сухої маси рослин у порівнянні із середніми багаторічними на 30%.

У варіанті «клімат + CO_2» в Поліссі збільшення сухої маси в порівнянні із варіантом «клімат» не буде спостерігатись. В інших зонах збільшення сухої маси становитиме на 39 % в Західному Лісостепу – на 55 % в Північному Степу і на 36 % в Південному Степу, що на 4 – 6 % вище, ніж у варіанті «клімат».

У відповідності із змінами площі листя, сухої маси рослин буде змінюватись і значення *фотосинтетичного потенціалу* (табл.. 4.3, рис. 4.3).

Як видно із табл. 4.3 та рис 4.3 за базовий період значення фотосинтетичного потенціалу складали в Південному Степу – 114 $м^2/м^2$. Розрахунки за обома сценаріями і про всіх варіантах показали, що в період з 2015 по 2050 рр. відбудеться збільшення фотосинтетичного потенціалу, але інтенсивність збільшення різна за різними сценаріями і за варіантами.

Динаміка наростання фотосинтетичного потенціалу, розрахованого за двома сценаріями *rsp* 4,5 та *rsp* 8,5 до п’ятої декади вегетації співпадає із середніми багаторічними за базовий період.

Розглянемо як зміниться фотосинтетичний потенціал до кінця вегетації ярого ячменю в Південному Степу.

Значення фотосинтетичного потенціалу в Північному Степу за обома сценаріями зростатимуть, але зростання буде більш відчутним за сценарієм rsp 8,5 як у варіанті « клімат», так і у варіанті «клімат + CO_2» і становитиме за першим сценарієм 127 та 133 $м^2/м^2$, та за другим 137 та 150 $м^2/м^2$ відповідно, або на 10 – 14 % та на 17 та 24 % більше, ніж середні багаторічні (рис. 4.3).

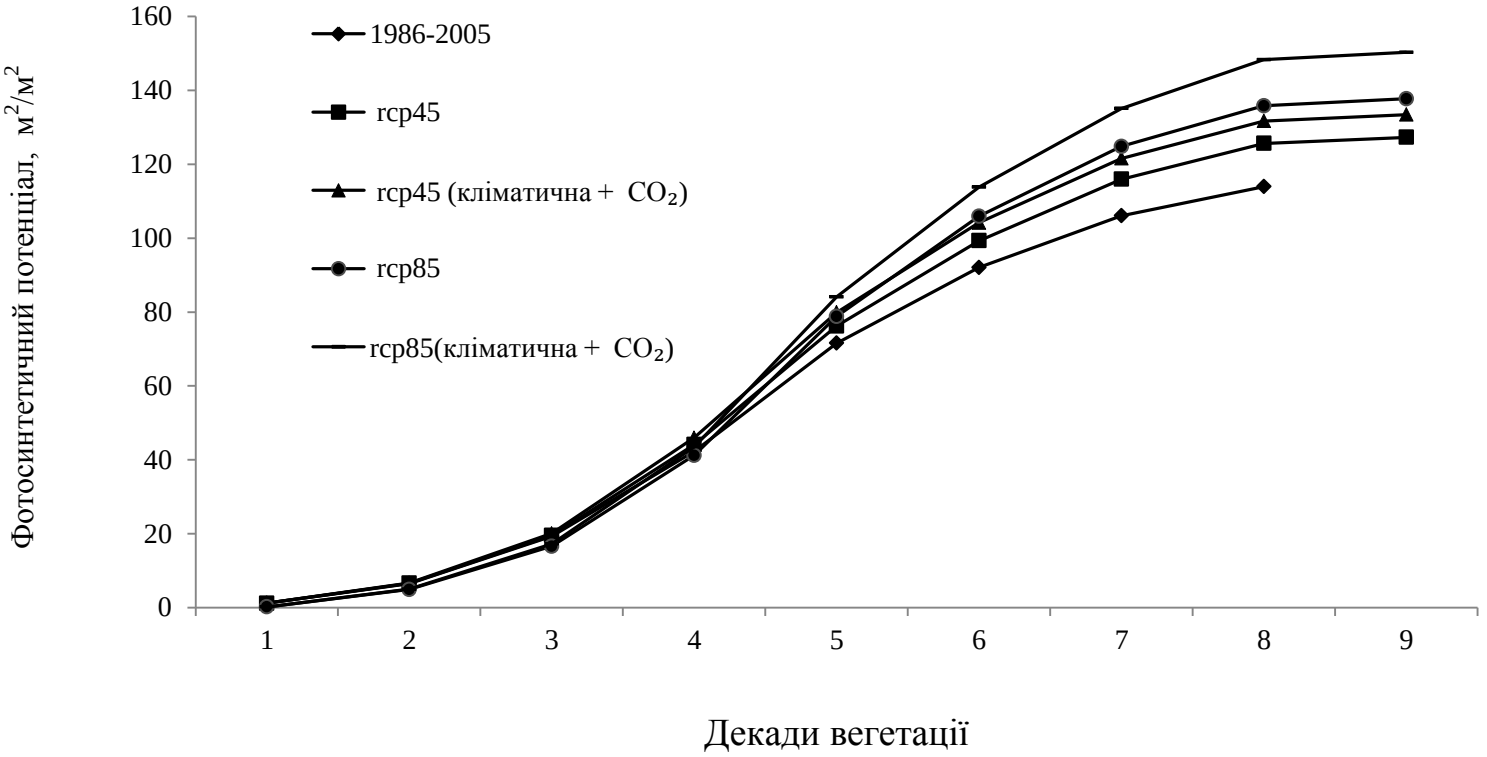

Рисунок 4.3 – Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *rsp 4,5 і rsp 8,5* .

78

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності рослин є чиста продуктивність фотосинтезу. Значення чистої продуктивності фотосинтезу за середніми багаторічними даними становила 89 г/м^2.

В Південному Степу чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм *rsp 4,5* зросте в обох варіантах до 90 та 91 г/м^2, що вище середньої багаторічної всього на 2-3 г/м^2. За сценарієм *rsp 8,5* вона зростатиме інтенсивніше, і становитиме відповідно 100 та 102 г/м^2, що на 11 та 19 г/м^2 більше, ніж середня багаторічна (рис. 4.4).

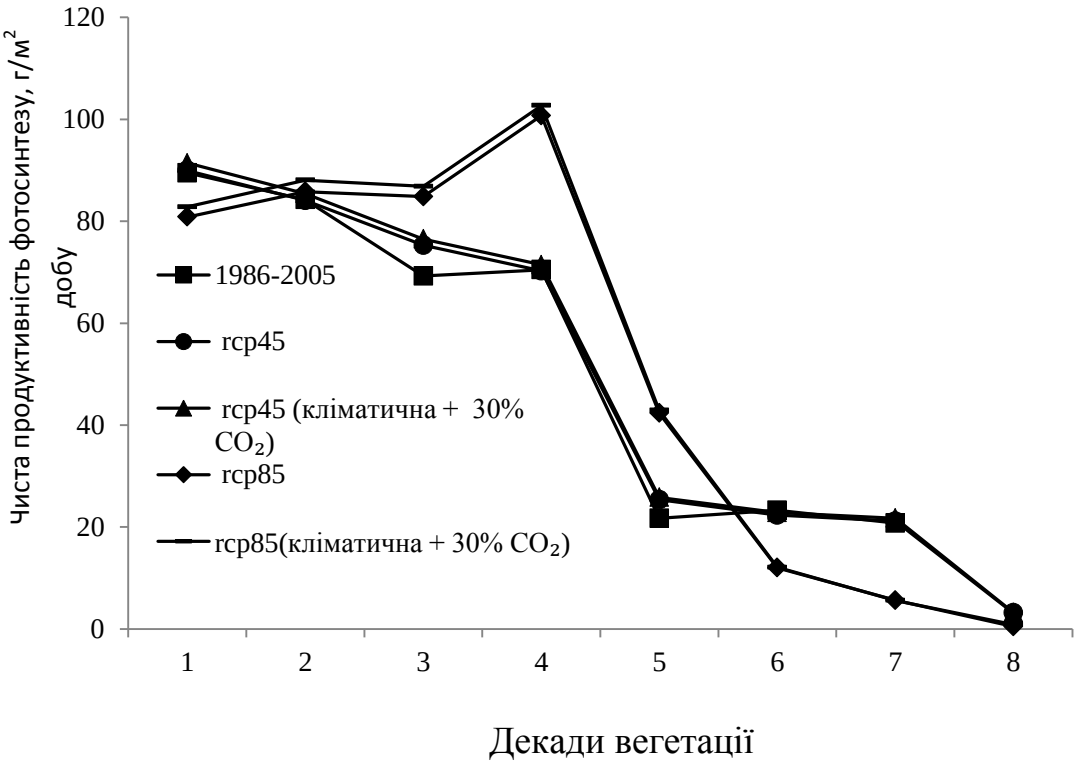

Рисунок 4.4 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *rsp 4,5 і rsp 8,5* .

В таблиці 4.4 представлена суха біомаса листя за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату *rsp 4,5* і *rsp 8,5*. В першу декаду вегетації суха біомаса листя починає в усіх періодах з 0,13 г/м^2. З першої по п'яту декади суха біомаса зростає до максимуму. І в п'ятій декаду вегетації суха біомаса листя становить 110,73 г/м^2 за середніми багаторічними даними, для сценарного періоду *rsp 4,5* дорівнює 122,74 г/м^2 і для сценарного періоду *rsp 8,5* суха біомаса листя становила 144,94 г/м^2. На кінець декади спостерігається зниження сухої біомаси листя. За середніми багаторічними даними суха біомаса листя у восьму декаду складала 85,54 г/м^2. За сценаріями зміни клімату *rsp 4,5* і *rsp 8,5* суха біомаса листя у девяту декаду становила відповідно 94,49 г/м^2 та 111,47 г/м^2.

Таблиця 4.4 – Суха біомаса листя за середніми багаторічними даними(1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату *rsp 4,5* і *rsp 8,5*

Декади вегетації	Суха біомаса листя, г/м^2		
	1986-2005 рр.	*rsp 4,5*	*rsp 8,5*
1	0,13	0,13	0,13
2	14,96	15,26	12,32
3	48,67	49,32	43,74
4	94,58	101,93	102,06
5	110,73	122,74	144,94
6	102,56	114,44	135,41
7	93,72	105,65	124,32
8	85,54	96,33	113,65
9		94,49	111,47

Інтенсивність фотосинтезу представлена на рисунку 4.5. Як видно із рисунку 4.5, починаючи з першої декади вегетації спостерігається ріст

інтенсивності фотосинтезу. Ріст відбувається до п’ятої декади вегетації. На цю ж декаду вегетації припадають максимальні значення інтенсивності фотосинтезу базового періоду і обох сценарних періодів *rsp* 4,5 та *rsp* 8,5 і дорівнюють 19,2 мгCO_2 /дм^2 година, 21,0 мгCO_2 /дм^2 година та 32,2 мгCO_2 ·/дм^2 година відповідно. А після шостої декади спостерігається повільний спад інтенсивності фотосинтезу аж до кінця восьмої декади і базовому періоді та до девятої декади за обома сценаріями.

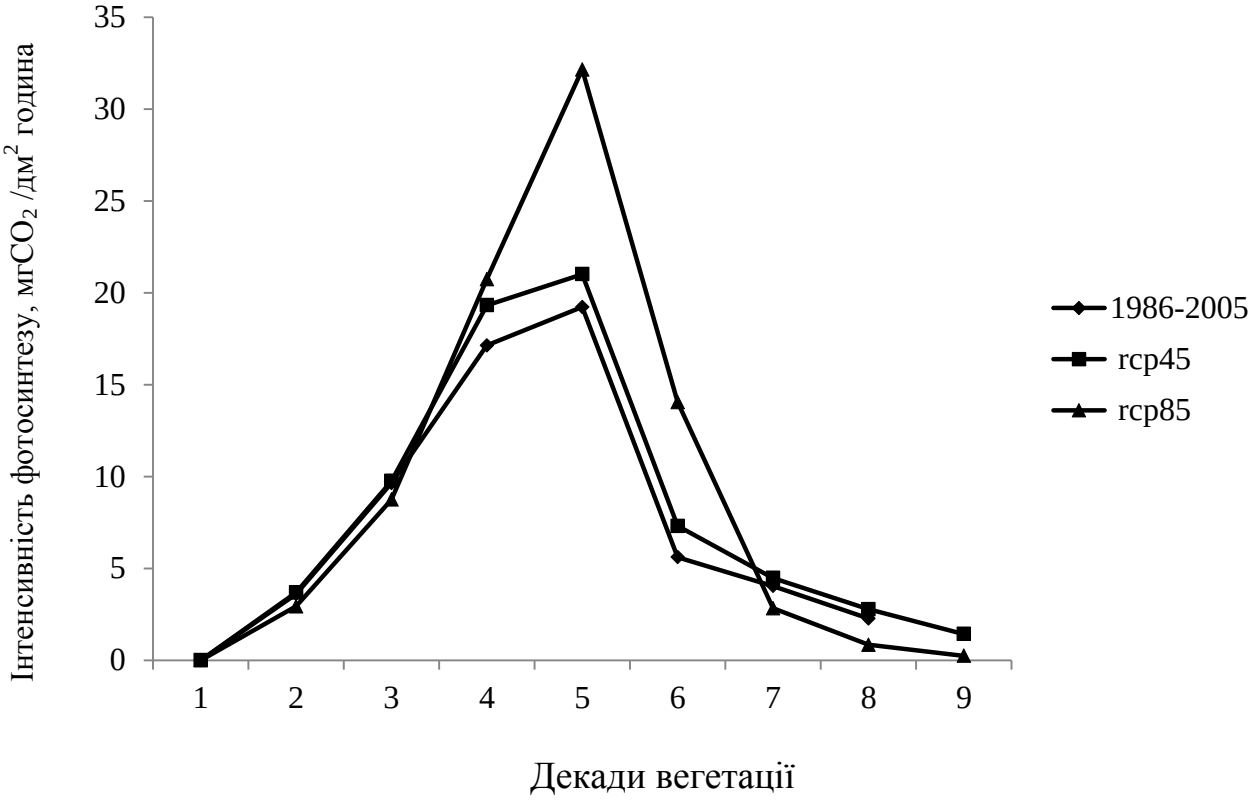

Рисунок 4.5 – Інтенсивність фотосинтезу ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *rsp 4,5 і rsp 8,5* .

Потреба ярого ячменю у волозі змінюється в онтогенезі. Від появи сходів до колосіння, коли у ярого ячменю йде наростання вегетативної маси, а також закладка і формування генеративних органів, споживання води сильно зростає.

Сумарне випаровування базового періоду ($E_ф$) в перші декади вегетації становить 10 мм рис. 4.6, потім у міру зростання вегетативної маси і

температури повітря сумарне випаровування зростає до максимуму (22 мм) у третій декаді. Після третьої декади воно знижується і складало 13 мм в кінці вегетації.

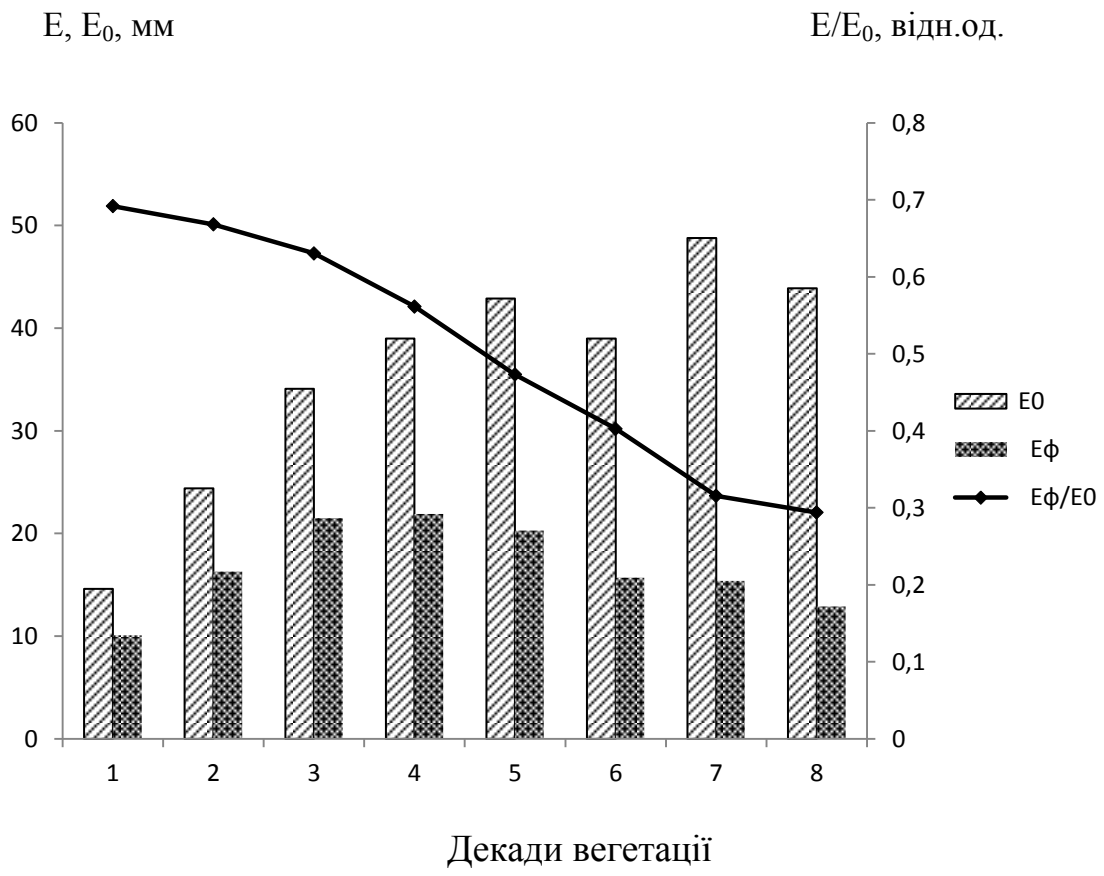

Рисунок 4.6 – Динаміка режиму зволоження вегетаційного періоду ярого ячменю (базовий період – 1986-2005 рр.) Південному Степу

Випаровуваність (E_o) на початку періоду вегетації становить 15 мм, далі поступово збільшується до п'ятої декади (43 мм), в шостій декади спостерігається незначний спад. В сьомій декаді вона досягає максимальної величини (49 мм) та на кінець періоду значення випаровуваності знижується і становить 44 мм (рис. 4.6).

Ставлення сумарного випаровування до випаровуваності (E/E_0) характеризує вологозабезпеченість посівів.

Розгляд динаміки ставлення E/E_0 базового періоду показує, що спочатку вегетації ярого ячменю вона знаходиться на позначці 0,69 відн.од. В послідуючих декадах йде зниження вологозабезпеченості посівів і досягає найбільш низьких значень за весь період і становить 0,29 відн. од. до кінця вегетації.

Хід показників зволоження розвитку ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *rsp 4,5* представлено на рис. 4.7. Сумарне випаровування ($E_Ф$) посіву на початку вегетації складає близько 9 мм. Сумарне випаровування посіву зростає в міру наростання температури повітря та рослинної маси і з 2 по 4 декаду вегетації коливається у межах 16 - 18 мм. В п'ятій декаді буде спостерігатися максимальне сумарне випаровування і становитиме 18,5 мм. В останні чотирі декади вегетації воно зменшується з 16 до 3 мм.

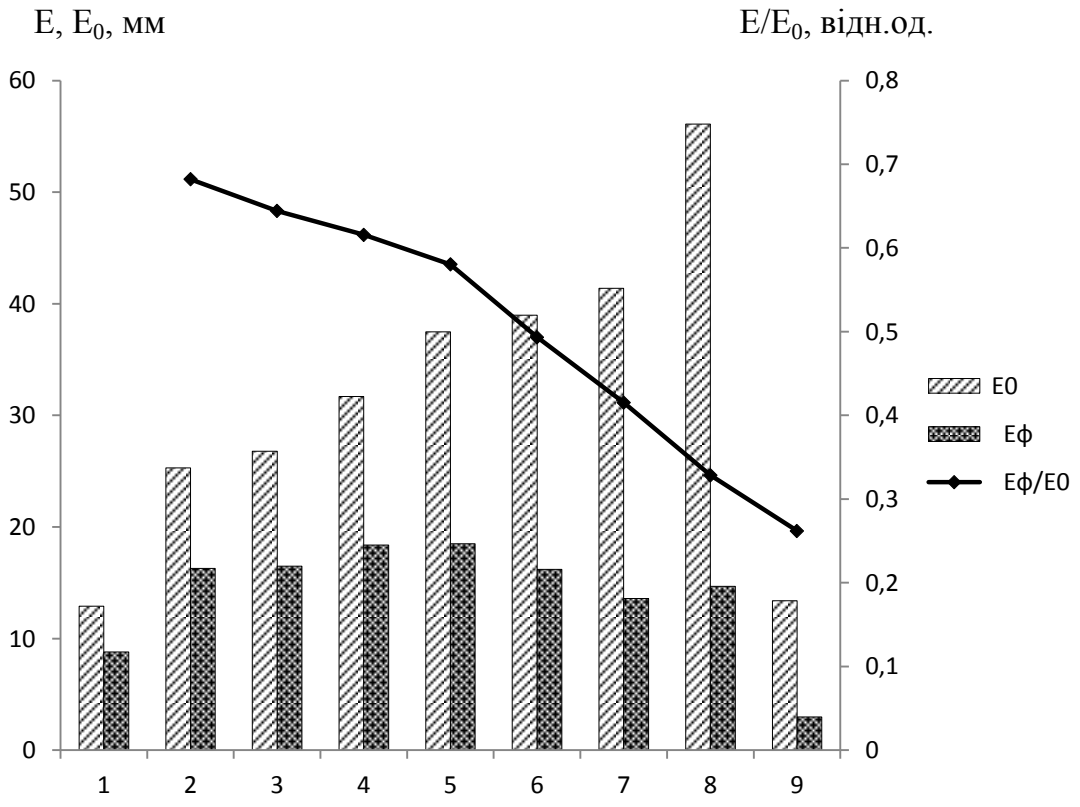

Рисунок 4.7 – Динаміка режиму зволоження вегетаційного періоду ярого ячменю (за сценарієм зміни клімату *rsp 4,5*) Південному Степу.

Потреба рослин у воді (E_o) також зростає від другої до 8 декади вегетації і коливається у межах від 25 до 56 мм, і тільки в останній декаді потреба рослин у воді різко зменшується і становить лише 13 мм.

Відношення $E_ф/E_o$, яке характеризує умови вологозабезпеченості посівів, впродовж вегетації становить по декадах 0,68 - 0,22 відн.

Сумарне випаровування за сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* ($E_ф$) в перші декади вегетації становить 1 мм рис. 4.8, потім у міру зростання вегетативної маси і температури повітря сумарне випаровування зростає до максимуму (19 мм) у п'ятій декаді. Після пятої декади воно знижується і складало 4 мм в кінці вегетації.

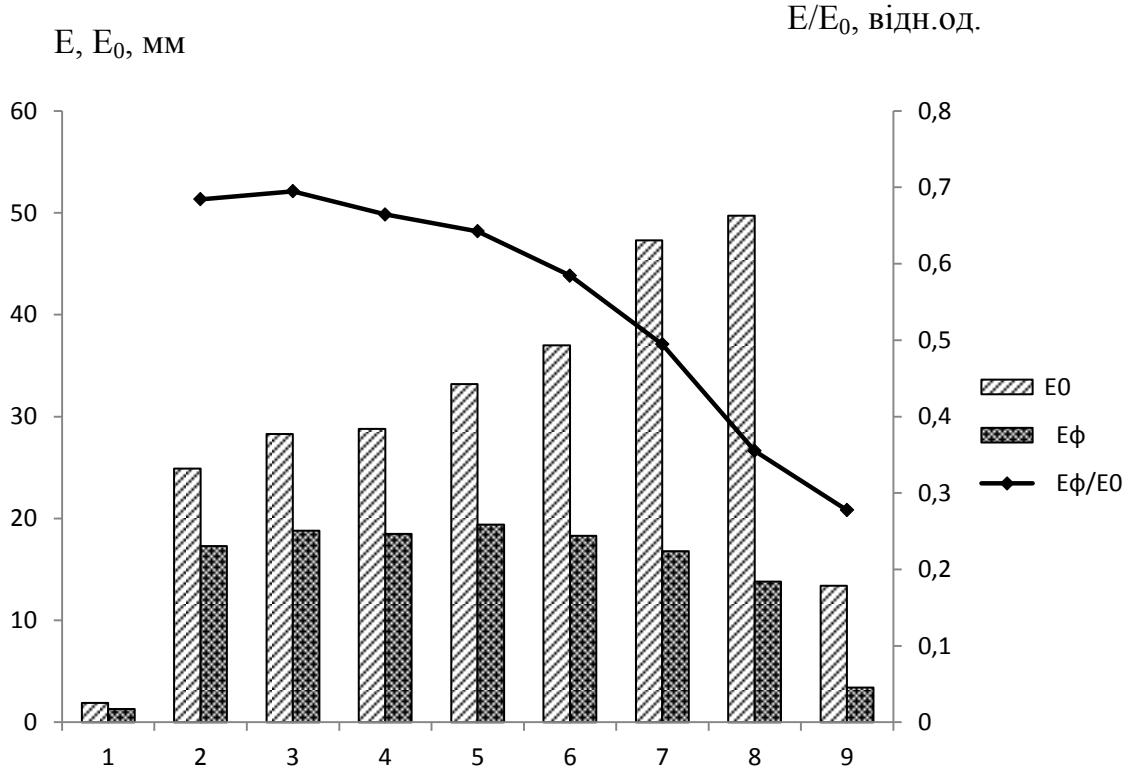

Рисунок 4.8 – Динаміка режиму зволоження вегетаційного періоду ярого ячменю (за сценарієм зміни клімату *rsp 8.5*) Південному Степу.

Випаровуваність (E_o) на початку періоду вегетації становить 2 мм, далі поступово збільшується до восьмої декади і досягає максимальної величини

(50 мм) та на кінець періоду значення випаровуваності знижується і становить 13 мм (рис. 4.8).

Розгляд динаміки ставлення E/E_0 за сценарієм зміни клімату *rsp 8,5* показує, що спочатку вегетації ярого ячменю вона знаходиться на позначці 0,68 відн.од. В послідуючих декадах йде зниження вологозабезпеченості посівів і досягає найбільш низьких значень за весь період і становить 0,25 відн. од. до кінця вегетації.

В цілому можна сказати, що за обома сценаріями в Південному Степу очікується значна зміна агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності ярого ячменю. Оцінка коливань його урожайності показала, що при зміні клімату за сценаріями *rsp* 4.5 та *rsp* 8.5 складуться сприятливі умови для вирощування ярого ячменю. При чому за реалізації сценарію *rsp* 8.5 умови будуть сприятливішими, ніж за реалізації сценарію *rsp 4.5*.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи були отримані наступні основні результати:

1. Вивчено агрокліматичні ресурси Південного Степу. Розглянуто основні показники ресурсів тепла і вологи.
2. Вивчені біологічні особливості ярого ячменю і його вимоги до факторів навколишнього середовища.
3. Вивчено технологію вирощування ярого ячменю.
4. Вивчено сучасний стан моделювання продуктивності ярого ячменю.
5. Вивчено модель водно-теплового режиму та формування продуктивності ярого ячменю. Отримані параметри формування врожаю ярого ячменю на основі даних спостережень гідрометеорологічних та агрометеорологічних стацій і постів Південного Степу.
6. Вивчено питання про зміну клімату та вплив на сільське господарство.
7. Аналіз тенденції впливу зміни клімату на темпи розвитку ярого ячменю в Південному Степу виконано шляхом порівняння показників за базовий період (1986 – 2005 рр.) і розрахованих за кліматичними *rsp 4,5* та *rsp 8,5* за період 2011 – 2050 рр.
8. Виконано розрахунки та аналіз настання дат сівби та основних фаз розвитку ярого ячменю. В період з 1986 по 2005. Сівбу проводили в кінці березня, в період з 2011 по 2050 сівба буде раніше на 3 – 8 днів раніше, тому й фази розвитку наставатимуть раніше.

В наслідок зміни термінів настання фаз розвитку ярого ячменю зміниться і тривалість його вегетаційного періоду. Вона зросте від 93 днів (середня багаторічна) до 103 днів в Південному Степу.

9. В період від сходів до колосіння середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями складала 13,8°С. Розрахунки за

сценаріями показують, що в цей період очікується середня температура вище базової на +0,5 – 0,8°С.

10. Проведено за результатами розрахунків аналіз теплового режиму та теплозабезпеченості ярого ячменю. Очікувані погодні умови за обома кліматичними сценаріями через зростання дефіциту вологи і внаслідок підвищення температури повітря в період дозрівання будуть сприятливими для вирощування ярого ячменю на сільськогосподарських угіддях Північного Степу

11. Були визначені основні показники фотосинтетичної діяльності посівів ярого ячменю за агрокліматичних умов Південного Степу. Встановлено, що за реалізації сценарію *rsp* 8.5 умови будуть сприятливішими, ніж за реалізації сценарію *rsp 4.5*.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адаменко Т.І., Кульбіда М.І., Прокопенко А.Л. Агрокліматичний довідник по території України. Кам'янець-Подільський: Галагодза Р.С., 2011. 108 с.
2. BARLEY Growth&Development(http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/516180/Procrop-barley-growth-and-development.pdf).
3. http://agrodelo.com.ua/tehnika/tehnologija-viroshhuvannja-jachmenju-jarogo-v.html
4. http://agroprod.biz/2017/06/01/zmina-klimatychnyh-umov-v-ukrajini-ta-jiji-vplyv-na-silskohospodarske-vyrobnytstvo/
5. http://allref.com.ua/uk/skachaty/YAchmin-
6. 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.
7. Борисоник З.Б. Яровой ячмень. М.: Колос, 1974. С. 255.
8. 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.
9. Дмитренко В. П. О моделях расчета урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических факторов // Метеорология и гидрология. 1971. №5. С. 84 –91.
10. Думенко В.В., Барсукова О.А. Вплив погодних умов на формування ярого ячменю в Херсонській області // Тези доповідей ІІІ міжнародної наукової конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення». 21-23 березня 2018 р. Одеса. 2018. С. 70-72.

11. Думенко В.В., Барсукова О.А. Походження, склад і властивості грунту зони обслуговування на станції Асканія Нова Херсонської області // Збірник тез за матеріалами студентської наукової конференції ОДЕКУ. 6-15 квітня 2016 р. Одеса: ТЕС. 2016. С.30-31.
12. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Ярий ячмінь. Рослинництво: Підручник. К.: Аграрна освіта, 2001. С. 183-210.
13. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: монография за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса . Вид: «ТЕС», 2015. 520 с.
14. Кулик М. С. Погода и минеральные удобрения. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 138 с.
15. Марков І. Л. Хвороби ячменю та методи їх контролю / І. Л. Марков // Агроном. 2008. № 4. С. 162–179.
16. Мешкова Л. В. Устойчивость ячменя к грибным заболеваниям в Омском Прииртышье / Л. В. Мешкова, О. Б. Сабаева // Тр. по прикл. бот, ген. и сел. Санкт-Петер. 2009. Т. 165.
17. Н. І. Васько, М. Р. Козаченко, Т. Ю. Маркова, О. Г. Наумов. 2012. ISSN 0582-5075. Селекція і насінництво. 2012. Випуск 101.
18. Неттевич Э. Д. Источники устойчивости ярового ячменя к мучнистой росе и их оценка в условиях Центрального Нечерноземья РСФСР /Э.Д. Неттевич. Н. В. Давыдова, А. В. Макарычев // Докл. ВАСХНИЛ. 1986. № 5.
19. Оцінка впливу змін агрокліматичних ресурсів України на формування урожайності ярого ячменю А.М, Польовий, Л.Ю. Божко, О.А. Барсукова - Вісник Одеського державного екологічного університету. 2014. №17. С 88-96.
20. Пасечнюк А.Д. Погода и полегание зерновых культур. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 212 с.
21. Полевой А.Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений С-3 и С-4 при изменении концентрации CO_2 в атмосфере //В сб.

Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. С-Пб.: Гидрометеоиздат. 2010. Том XXIII. С. 297-316.

22. Полевой А.Н., Кульбида Н.И. Моделирование формирование урожая озимой пшеницы в период весенне-летней вегетации в Украине // Метеорология, климатология и гидрология. Одесса. 2001. Вып. 43. С. 128 – 135.
23. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроекосистемю К.: КНТ. 2007. 344 с.
24. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. Одеса. «ТЕС», 2012. 612с.
25. Climate Change 2013: The Physical Science Basis / T.F. Stocker, D. Qin. G.-K. Plattner, M. Tignor [et al.] // Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
26. Вериго С.А, Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 288 с.
27. Коровин А.И., Тарлинская Б.П., Дульбинская Д.А., Петров А.М., Колманова О.В. Физиологическая роль низкой температуры почвы в снижении полевой всхожести семян. Сельскохозяйственная биология, т.I, № 2, 1966.
28. Федосеев А.П. Агрометеорологические условия формирования всходов ячменя // Труды ИЭМ, 1968. Вып 4. С. 15 – 25.