

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

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність
ярого ячменю в Кіровоградській області**

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

(шифр і назва)

Освітня програма Агроекологія

(назва)

Гомон Андрій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник к.геогр.н., доцент

Барсукова Олена Анатоліївна

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

Консультант _____ - _____

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

Рецензент к.геогр.н., доцент

Романчук Марина Євгенівна

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

Одеса 2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорологія та агрометеорологічних прогнозів
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 101 «Екологія»
(шифр і назва)
Освітня програма Агроєкологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів
Польовий А.М.
“26” березня 2018 року

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

Гомону Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю в Кіровоградській області

керівник роботи Барсукова Олена Анатоліївна, к.геогр.н., доцент,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «2» листопада 2017 року № 321-С

2. Строк подання студентом роботи 01 червня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи Матеріали середньобагаторічних метеорологічних, агрометеорологічних та фенологічних спостережень за яровим ячменем мережі агрометстанцій Кіровоградській області. Метеорологічні дані за сценаріями А2 та А1В моделі зміни клімату МРІ-М-РЕМО.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості Кіровоградської області; вивчити біологічні особливості ярого ячменю; ознайомитися з методикою динамічної моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур; оцінити агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю в Кіровоградській області 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 26 березня 2018 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання. Ознайомлення з фізико-географічними особливостями території дослідження. Біологічні особливості ярого ячменю та їх вимоги до навколишнього середовища. Підготовка банку даних.	26.03.2018 р. – 10.04.2018р.	90	5(відмінно)
2	Вивчення алгоритму динамічної моделі продуктивності сільськогосподарських культур, проведення розрахунків	10.04.2018р.- 29.04.2018р.	90	5(відмінно)
3	Рубіжна атестація	30.04.2018 р.-- 06.05.2018 р.	90	5(відмінно)
4	Виконання розрахунків, побудова графіків, таблиць. Аналіз отриманих результатів, написання основного тексту роботи	07.05.2018 р. - 17.05.2018 р.	90	5(відмінно)
5	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	18.05.2018 р. - 30.05.2018 р	90	5(відмінно)
6	Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту	31.05.2018 р.-- 01.06.2018 р.	90	5(відмінно)
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90	5(відмінно)

Студент
(підпис)ГОМОН А.С.
(прізвище та ініціали)Керівник роботи
(підпис)Барсукова О.А.
(прізвище та ініціали)

АННОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю в Кіровоградській області», автор роботи магістр групи МАЕ-60 Гомон Андрій Сергійович.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтетичну продуктивність ярого ячменю в Кіровоградській області.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

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

- оцінити зміни агрокліматичних умов вирощування ярого ячменю в зв'язку зі зміною клімату.

- оцінити за допомогою моделі продуційного процесу рослин фотосинтетичну продуктивність та коливання урожайності ярого ячменю в зв'язку зі зміною клімату;

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 продуційного 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 Кіровоградської області 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 Кіровоградської області з метою можливого збільшення посівних площ.

Структура і обсяг роботи: 82 сторінок, 10 рисунків, 8 таблиці, 41 літературних джерел.

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

SUMMARY

The subject of master's qualification work is “Modelling the impact of climate change on the productivity of spring barley in Kirovograd region”, performed by master Gohon Andrey Sergeevich, group MAE-60.

The goal of the master's work is to determine the impact of climate change on agro-climatic growing conditions and photosynthetic productivity of spring barley in Kirovograd region.

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

- to study basic dynamic model of productivity of crops and create an array of information (average annual and based on the chosen scenario of climate change) to perform calculations.

- to estimate the heat and moisture supply of the growing season of spring barley in relation to climate change.

- to estimate photosynthetic efficiency and yield of spring barley fluctuations due to climate change using a model of productive process of plants.

Object of study are agrometeorological conditions of formation of productivity of spring barley in a changing climate.

Subject of study is patterns of the impact of agrometeorological conditions during climate change on photosynthetic productivity of spring barley.

Research methods. Study is based on mathematical modeling of plants production process.

Main results. Using calculations based on dynamic model following results were acquired:

- estimation of changes agrometeorological conditions of cultivation of spring barley in a changing climate was performed;
- comparative evaluation of photosynthetic productivity of spring barley at average annual conditions and acceptable climate change scenarios was performed

Novelty: for the first time the estimation of growing conditions of spring barley in a changing climate in the conditions of Kirovograd region was performed.

Theoretical and practical importance: for the first time dynamic model was adopted to the conditions of spring barley, and obtained results allows to determine what level of productivity of this crop can be expected be in the conditions of a changing climate.

Recommendation: The results can be used in the cultivation of spring barley in the conditions of the Sumy region for a possible increase in acreage.

The structure and volume of work: 82 pages, 10 figures, 8 tables, 41 literature sources

Keywords: Climate change, agrometeorological conditions, temperature, precipitation, water supply, spring barley, photosynthesis, leaf area, biomass, harvest.

ЗМІСТ

	Стр.
ВСТУП	7
1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС І АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	9
1.1 Загальні фізико-географічні відомості по Кіровоградській області.....	9
1.2 Агрокліматичні ресурси Кіровоградської області.....	11
2. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ.....	17
2.1 Ботанико-морфологічна характеристика культури.....	17
2.2 Вимоги ярого ячменю до світла.....	19
2.3 Вимоги ярого ячменю до тепла	20
2.4 Вимоги ярого ячменю до вологи.....	21
2.5 Вимоги ярого ячменю до ґрунтів і живлення	22
2.6 Характеристика вирощуваних сортів ярого ячменю.....	25
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ	30
3.1 Сучасний стан моделювання формування врожаю ярого ячменю	30
3.2 Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур	34
3.3 Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву.....	37
3.4 Моделювання водного режиму рослинного покриву.....	40
3.5 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин.....	43
3.6 Моделювання росту рослин.....	45
4 АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА УМОВ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В КІРОВОГРАДСЬКІЙ ОБЛАСТІ....	54
4.1 Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність	

ярого ячменю.....	54
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	79

ВСТУП

Клімат суттєво впливає на формування врожаю сільськогосподарських культур. Він значною мірою визначає середній рівень врожайності, її міжрічну мінливість і просторову структуру.

Щорічно через глобальне потепління у світі втрачається понад 1 млн. сільськогосподарських угідь. Зокрема, Україна за 40 років втратить 12-14 % таких земель. За той же час Євросоюз - майже 30 % орних площ. Виходячи з цих двох критеріїв, експерти Української аграрної конфедерації зробили висновок, що Україна в 2050 році буде забезпечувати експорт не менш як 45 млн т зерна, що становитиме приблизно 15 % світового експорту. Тому проблема оцінки впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування, продуктивність та валові збори зерна головної зернової культури України є дуже актуальною [4, 14, 41].

Ефективне управління сільськогосподарським виробництвом неможливе без аналізу ходу чинників, від яких залежить його діяльність. У сільськогосподарському виробництві найбільш впливовими на розвиток та урожай культур є метеорологічні умови. Вони в більшій мірі обумовлюють продуктивність усіх сільськогосподарських культур, у тому числі і зернових.

Ярі зернові культури за величиною посівних площ на території СНД посідають перше місце. Це - яра пшениця, ярий ячмінь, овес, кукурудза, гречка, просо та інші. Найбільш поширені посіви ранніх ярих культур у районах з родючими чорноземними та каштановими ґрунтами, але з різко континентальним кліматом і великою повторюваністю посух та суховіїв. Недостатнє та нестійке зволоження є головною причиною значних щорічних коливань урожайності.

Спеціалісти присвячують багато уваги вивченню динаміки врожаїв, впливу основних агрометеорологічних факторів і показників на стан рослин. Дослідженнями встановлено, що продуктивність зернових культур коливається синхронно з коливаннями агрометеорологічних умов їх

вирощування. Врожайність зернових має тенденцію до зростання з часом, але темпи зростання різні у різних культур та в різних регіонах. Збільшення врожайності з часом обумовлено підвищенням культури землеробства (особливостей системи землеробства, використання добрив, засобів обробітку ґрунту, засобів боротьби зі шкідниками, меліорації тощо), виведенням нових сортів.

Метою моєї магістерської кваліфікаційної роботи є визначення впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтезу продуктивності ярого ячменю в Кіровоградській області.

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

1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНИЙ ОПИС І АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Загальні фізико-географічні відомості по Кіровоградській області

Кіровоградська область розташована на правобережжі Дніпра, в південній частині Придніпровської піднесеності, в лісостеповій і степовій зонах.

Площа її 24,9 тис. км².

Поверхня області представляє хвилясту рівнину, сильно розгалужену річковими долинами і численними ярами і балками.

Річок і водойм в області багато. Річки належать до систем Дніпра і Південного Буга.

Досліджувана територія характеризується порівняно одноманітним ґрунтовим складом. Більшу частину області займають чорноземи. Схили долин і вододіли покриті в південно-східній частині області звичайними середньогумусними чорноземами, у північно-західній частині – потужними чорноземами. Серед останніх спостерігаються численні плями ясно-сірих, сірих і темно-сірих опідзолених ґрунтів і малогумусних вилужених чорноземів. У заплавах рік місцями зустрічаються алювіальні ґрунти [1].

Як степова (південно-східна), так і лісостепова (північно-західна) частини області в основному розорані й представляють культурний ландшафт. У долинах рік і на вододілах у північно-західній частині розташовані невеликі діброви. У районі Знаменки зберігся великий масив лісу, так званий Чорний ліс (близько 10 тис. га). У ньому крім дуба, ростуть ясен, граб і інші широколистяні породи. На території області зернові, технічні, кормові культури й багаторічні трави.

Зернові (озима пшениця, ячмінь і ін.) становлять 68% усіх посівів. Основними технічними культурами є: соняшник, цукровий буряк, соя,

льонкудряш, озимий рапс. Значне місце займають овочівництво, баштанництво й посіви картоплі. На частку багаторічних трав (люцерна, еспарцет і ін.) доводиться понад 4% посівів області [1, 2, 3].

Таблиця 1.1 - Середня багаторічна температура повітря, °С

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Аджамка												
-6,4	-5,9	-0,7	6,9	14,5	17,4	20,1	19,2	14,1	7,9	1,0	-4,1	7,0
Сагайдак												
-5,4	-4,8	0,7	8,0	15,8	19,2	21,4	20,4	15,2	8,9	2,0	-3,3	8,2

Як видно з приведених даних, середньомісячні і річна температури повітря на півдні приблизно на 1° вище, ніж на півночі області. У окремі роки ця різниця буває значнішою.

Кількість випадних опадів впродовж року розподіляється таким чином.

Таблиця 1.2 - Середня багаторічна кількість опадів

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Аджамка												
16	14	19	36	45	58	61	52	39	32	29	30	431
Сагайдак												
22	20	23	31	42	59	57	44	26	29	31	34	418

Основна кількість опадів випадає в теплий період року (квітень - жовтень).

Сніговий покрив утворюється що зими, але тримається нетривалий час.

Графічне зображення розподілу метеорологічних елементів в році на ст. Кіровоград наведено на рис. 1.1

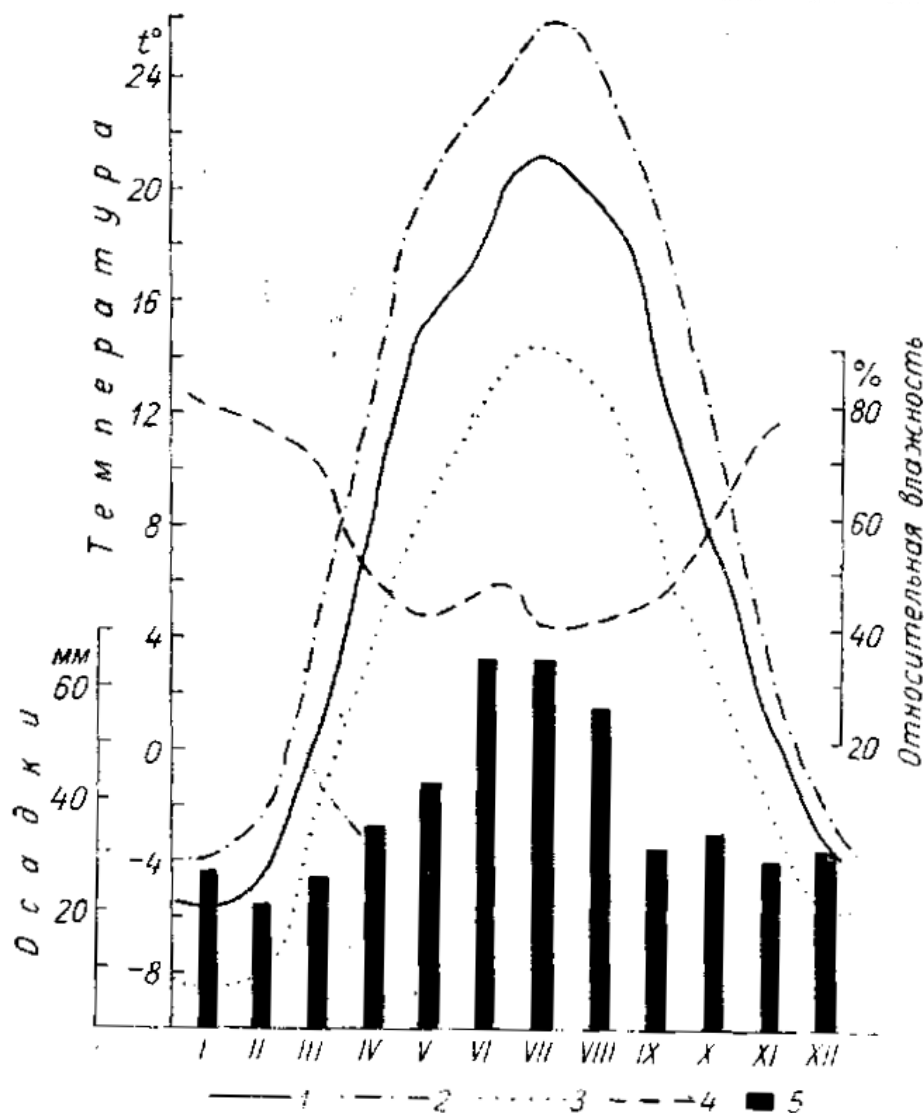


Рисунок 1.1 - Річний хід метеорологічних елементів на ст. Кіровоград.

1 - середня добова температура повітря, 2 - середня температура повітря за 13 годин, 3 - середній мінімум температури повітря, 4 - відносна вологість повітря, 5 - опади.

1.2 Агрокліматичні ресурси Кіровоградської області

В області клімат континентальний, помірно-теплий. Для більш чіткої уяви про кліматичні ресурси Кіровоградської області її територія умовно ділиться на два агрокліматичних району (рис. 1.2).

В основу районування закладені термічні ресурси (сума середніх добових температур) періоду з температурою вище 10°C. У якості характеристики ступені зволоження території для агрокліматичного районування був узятий гідротермічний коефіцієнт зволоження Г.Т. Селянінова за цей же період.

Виходячи із цього, на території області було виділено два агрокліматичних району. Перший – недостатньо вологий, що займає західну й північну частини області; другий – помірковано посушливий, що займає південну й східну частини. По термічних умовах перший з них можна назвати теплим, а другий – дуже теплим.

I. Недостатньо вологий, теплий район. Він включає Аджамський, Олександрійський, Олександровський, Гайворонський, Голованевський, Добровеличковський, Знаменський, Кіровоградський, МаловВисковський, Зеландско-Архангельський, Новомиргородський і Уляновський адміністративні райони.

Кліматичні ресурси його характеризуються наступними показникам: Величина ГТК становить 1.0, кількість опадів за вегетаційний період 250 – 290 мм, річна кількість опадів 430 – 480 мм, сума температур за період активної вегетації становить 2800 – 2900°C. тривалість цього періоду 165 – 170 днів.

Останній весняний заморозок припинявся в третій декаді квітня, а перші осінні починаються в першій декаді жовтня. Тривалість безморозного періоду становить 160 – 170 днів. Середня з максимальних висот сніжного покриву 12 – 16 см.

II. Помірковано – посушливий, дуже теплий район. Включає Бобринецький, Долинський, Новгородковський, Зеландско-Український, Петровський адміністративні райони.

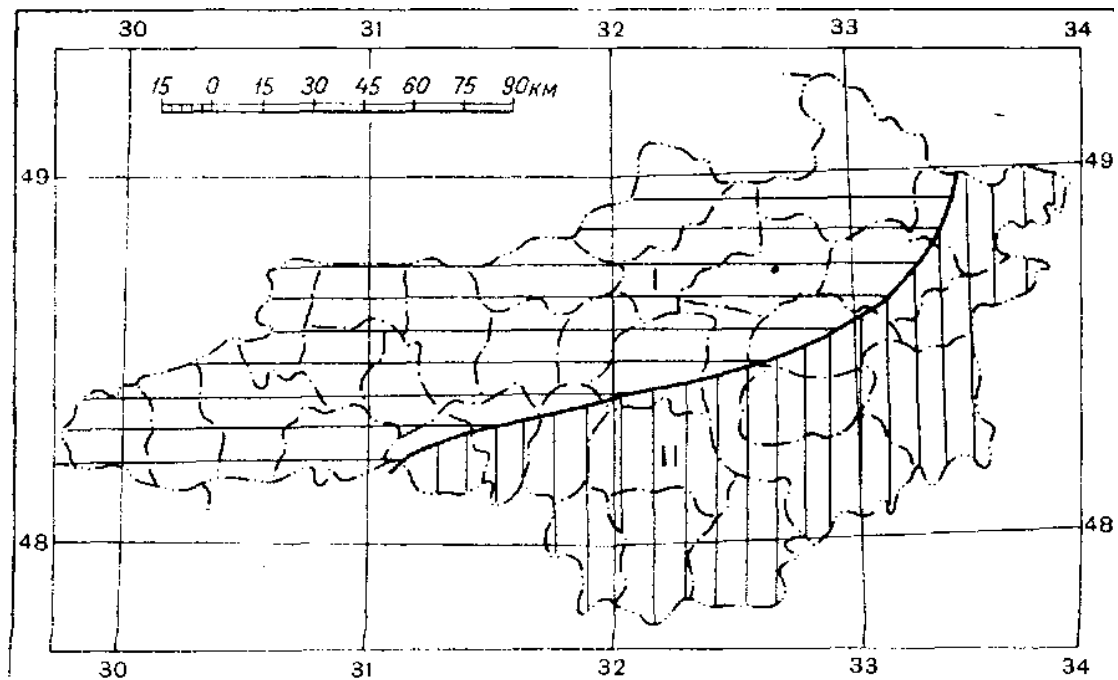


Рисунок 1.2 - Районування території по теплозабезпеченості і мірі зволоження вегетаційного періоду. Район I - теплий, недостатньо вологий; район II - дуже теплий, помірно посушливий.

Це менш зволожений район, чому перший. ГТК 0.8 – 0.9. Сума опадів за вегетаційний період 240 – 280 мм, а за рік 430 – 450 мм. Суми температур за період вище 10°C – 2900 – 3000 °C. Тривалість періоду активної вегетації 165-170 днів, а безморозного 175 – 185 днів. Останній весняний заморозок припинявся 24 – 26 квітня, а перші осінні починаються 5 – 12 жовтня. Середня з максимальних декадних висот сніжного покриву 10 – 14 см.

Коротка агрокліматична характеристика сезонів року

Перехід від одного сезону до іншого, як правило, відбувається поступово, і вказати які-небудь дати початку і кінця сезону можна тільки умовно. Початком і кінцем сезонів вважають дати переходу середньодобової температури через певні межі.

Весна. Початком весняного сезону прийнято вважати дату переходу температури повітря через нуль. Цей перехід на території області в середньому багаторічному відзначається в першій половині березня.

Весна триває в середньому близько двох місяців. Під впливом інтенсивного підйому температури (що є характерною рисою весни) сезонні явища розвиваються швидко. Ґрунт швидко відтає й прогрівається, у квітні середньомісячна температура на глибині 25 см досягає значення 8 °С, підсилюється випар, збільшується вологовміст повітря. Але відносна вологість повітря у зв'язку зі швидким підйомом температури падає до 52 – 56 % в 13 годин у квітні й до 45 – 50 % у цей же строк у травні.

У першій декаді квітня відзначається перехід середньодобової температури повітря через 5 °С, проводиться посів ранніх ярових зернових культур [1, 2, 3].

Перехід середньої добової температури повітря через 10 °С відбувається в третій декаді квітня. Починаючи із цього періоду створюються сприятливі температурні умови для посіву пізніх культур і інтенсивного зростання більшості рослин. Середні денні температури повітря у квітні досягають 11 – 12 °С, а максимальна може досягати значень 28 – 29 °С. Поряд із цим у квітні часто бувають нічний заморозок.

Літо. За початок літнього періоду прийнята дата переходу середньої добової температури повітря через 15 °С, що збігається приблизно із припиненням нічного заморозку.

На території Кіровоградської області в другій половині травня настає літо й триває до середини вересня. У літній період спостерігається переважно тепла, малохмарна погода. Середня денна температура повітря в травні досягає значень 19 – 20 °С, у червні – 22 – 24, у липні – 25 – 26, у серпні – 24 – 26 °С.

Максимальна температура повітря окремі роки в липні – серпні досягає 36 – 38 °С.

Опади випадають переважно зливого характеру. Максимум їх припадає на червень-липень. Днів з опадами в травні – червні буває в середньому по 10 – 15, а липні - серпні – 7 – 9. Однак улітку нерідко бувають тривалі періоди без дощів.

Осінь. Осінньому сезону, початком якого прийнято вважати дату переходу температури повітря через 10 °С, передує теплий передосінній період тривалістю 20 – 25 днів. Середня добова температура повітря в цей період вище 10 °С, але нижче 15 °С. Початок осені повсюдно на території області припадає на першу декаду жовтня.

Осінній сезон характеризується збільшенням числа похмурих днів, а також нічним заморозком. Крім цього відбувається загальне зниження температури повітря, і на початку листопада здійснюється перехід середньої добової температури повітря через 5 °С. З переходом температури через 5 °С закінчується вегетаційний період. На загальному фоні зниження температури й погіршення погоди для осені характерні повернення теплої, ясної погоди.

За закінчення осені прийнято вважати дату переходу середньої добової температури повітря через 0 °С, що відбувається в середньому багаторічному в другій половині листопада.

Зима. Початок зими визначається переходом середньої добової температури через – 5 °С до більш низкою. А кінець її – переходом середньої добової температури через цю межу до більш високої. Тривалість зими на території області коливається від 34 до 65 днів, становлячи в середньому 45 днів.

Як правило зимовий режим погоди встановлюється не відразу. Між кінцем осені й початком зими, а також між кінцем зими й початком весни спостерігається передзимові й передвесняний періоди із середньодобовою температурою нижче 0 °С, але вище -5 °С. Тривалість кожного з них коливається в межах від 20 до 45 днів. Всі ці періоди характеризуються нестійкою погодою із частою зміною морозних днів на відлизі й кількаразовою появою й сходом сніжного покриву.

Зима на території області малосніжна, середні з найбільших декадних висот сніжного покриву 9 – 16 см, м'яка із частими відлигами. В окремі роки під час відлиги температура повітря підвищується до 9 – 13 °С. Бувають

дуже холодні зими, коли мінімальна температура повітря знижується до -32 – 36 °C. Середня місячна температура повітря самого холодного періоду (січень – лютий) становить -5 - 6 °C [1, 2].

2 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ

2.1 Ботанико-морфологічна характеристика культури

Ячмінь відноситься до роду *Hordeum* L., який включає багато видів дикого і один вид культурного ячменю. Розрізняють 3 підвиди ячменю : дворядний, багаторядний і проміжний, що розрізняються будовою колосу (по числу плононосних колосків на кожному уступі колосового стержня). У багаторядних ячменів усі колоски плононосні і вони на відміну від дворядних більше посухостійкі, скоростиглі, але сильніше обсіпаються. У дворядного ячменю з трьох колосків на кожному уступі колосового стержня тільки один центральний дає зерно, а два бічних безплідні. У проміжного підвиду ячменю на уступах колосового стержня знаходиться різна кількість плононосних колосків - від одного до трьох [5-14].

Рослини ячменю складаються з підземної (корені первинні і вторинні) і надземної (стебло, листя, суцвіття, плід) частин. Культурний ячмінь - однорічна рослина з яриною або озимим типом розвитку.

У ячменю коренева система не має головного кореня. Вона мочкувата, складається з безлічі дрібних ниткоподібних коренів. При проростанні зерна на початку з'являється первинні або зародкові корені (від чотирьох до семи і більше). Вони відіграють важливу роль в постачанні рослин вологою, поживними речовинами і формуванні урожаю. У посушливі роки вони проникають в глибокі шари ґрунту і залишаються живими до кінця вегетації рослин. В період кушіння з підземних стеблових вузлів утворюються вторинні (вузлові) корені. За оптимальних умов зволоження і живлення рослин вторинні корені розвиненіші, ніж первинні. Зародкові і вузлові корені покриті кореневими волосками, за допомогою яких рослина бере з ґрунту вологу і поживні речовини. При вирощуванні ячменю необхідно слід

враховувати, що коренева система його має меншу засвоювану здатність, чим коренева система інших зернових культур (пшениці, вівса, іржі).

Стебло ячменю - соломина (порожниста), розділена стебловими вузлами і складається з 4-8 міжвузля. Нижнє міжвузля стебла найкоротше, а верхнє має найбільшу довжину. У сучасних сортів стебло ячменю досягає довжину 50 - 80 см і більше, а товщина його 2,5 – 4 мм, яка зменшується від основи до вершини стебла. Сильне подовження першого двох міжвузля (від основи стебла) часто веде до вилягання рослини. Важлива якість стебла - його міцність і еластичність і залежить в основному від сорту. Значне зниження товщини стебла призводить до ламкості стебла.

Лист складається з піхви і листової пластинки. Довжина і ширина листя сильно варіюють. Листя другого ярусу (згори) має довжину від 12-15 до 25 см, ширину від 8 до 22 мм. Велика облиствленість ячменю - позитивна якість при обробітку його на зелений корм. Листя утворюється із стеблових вузлів, вони який щільно облягає стебло. Крім того, по краях і на місці вигину листової піхви знаходяться роговидні широкі вушка 2-3мм, що охоплюють стебло. Це відмітна ознака ячменю від пшениці і вівса.

Суцвіття у ячменю - колос, який складається з колінчастого стержня і одноквіткових колосків, розташованих на виїмках стержня. Колосовий стержень ячменю порівняно міцний, не розпадається на окремі колоски при дозріванні. Збоку стержень нагадує ступінчасту зигзагоподібну лінію. Він складений як би з окремих члеників, кожен завдовжки 2-5мм. На кожному виступі стержня розташовані три одноквіткові колоски. Залежно від числа плодоносних колосків ячмінь ділять на багаторядний, дворядний і проміжний. Колір колосу при повному визріванні рослини у різних форм і різновидів буває: солом'яно-жовтий, ячмінь переважно власним пилком, внаслідок чого не відбувається розкриття квітки. При тому, що швидкому, що виколошується спостерігається розкриття колосків в середній частині колосу [5-9].

Плід ячменю - зернівка, довжина 7-10 мм, ширина і товщина 2-3 мм. Зернівка може бути гола і плівчаста. У плівчастого ячменю колірна луска зростається із зернівкою, і при обмолоті зерно залишається в квіткових лусочках. У багатьох форм ячменю зовнішня квітова лусочка переходить в довгий остюк (гладку або зазублену), а іноді в трилопатевої придаток вильчатої форми. У голозерних форм ячменю квіткові плівки не зростаються із зернівкою, і при обмолоті зерно легко звільняється від квіткових лусок. При подовжньому розрізі зернівки розрізняють покривні тканини, алейроновий шар, ендосперм і зародок.

Зерно ячменю буває солом'яно-жовтого, сіро-зеленого, зеленого, чорного, помаранчевого і фіолетового забарвлення. Зерно має різні форми: ромбовидну, подовжену, еліптичну. У дворядних ячменів зерно за формою однорідніше, у багаторядних різне, що зерно середніх рядів більше і вирівняне. Ознака великості зерна є спадковою і повержена впливу зовнішнього середовища. Сучасні сорти ячменю мають дуже велике зерно масою більше 40 р.

2.2 Вимоги ярого ячменю до світла

Яровий ячмінь належить до рослин довгого дня. При укороченому світловому дні його колосіння сильно затягується. Стадію яровизації ярові ячмені проходять при температурі 2-5 °С впродовж 5-10 днів. Для проходження рослинами світлової стадії велике значення має не лише тривалість, але і інтенсивність освітлення. Ячмінь - найбільш скоростигла культура (в порівнянні з пшеницею і вівсом). Вегетаційний період різних його сортів коливається в межах від 80 до 115 днів. Засвоювана здатність кореневої системи у ячменю вища, ніж у пшениці, але нижче чим у вівса. Яровий ячмінь кущиться значно сильніше, ніж овес і ярова пшениця [6].

Ячмінь - типовий самозапилювач. Цвітіння його починається ще під час знаходження колосу в піхві листа, а у деяких його форм цвітіння закінчується в піхві листа. Зовнішні умови роблять сильний вплив на характер цвітіння. У сухі, жаркі дні цвітіння настає раніше і закінчується до того, що повного, що виколошується. У помірно вологі прохолодні дні цвітіння ячменю настає пізніше і закінчується після повного виходу колосів з піхви листа. При гарній погоді ячмінь цвіте дружно, починаючи з середньої частини колосу, одночасно вгору і вниз. Підвищена вологість і висока температура сприяють відкритому цвітінню багатьох форм ячменю [5 -9].

2.3 Вимоги ярого ячменю до тепла

Ярий ячмінь невибагливий до тепла. Про це свідчить широке поширення посівів цієї культури в усіх країнах світу. В Україні ячмінь обробляється в усіх зонах, від півночі до півдня.

Для ячменю найбільш сприятливі температури, що поступово підвищуються, без різких коливань. Зерно ячменю може проростати при 1-3°З, але для появи дружних сходів потрібна більш висока температура (15-20°С). Кожна фаза зростання і розвитку ячменю проходить при певній температурі. Сходи ячменю без особливого збитку переносять заморозки до -6°С, а після хорошого загартування морози до -10-12°С. Проте тривале похолодання і зволоження викликають затримку зростання і пригноблення рослин. Небезпечні заморозки під час цвітіння і дозрівання зерна. Зав'язь і пильовики ушкоджуються при температурі 1-2°С.

Кущінню і коренеутворенню сприяє невисока температура. Ячмінь сильно страждає від швидкого настання високої температури у фазі виходу в трубку, коли формується продуктивність колосу. В період виходу в трубку - колосіння найбільш сприятлива середньодобова температура 20-22° С, у фазу дозрівання зерна - 23-24°С. При температурі нижче 13-14° С наливши і

дозрівання зерна затримуються. Сума активних температур, необхідних для повного циклу розвитку ячменю, складає близько 2000°C.

Різкі коливання, а також висока температура у поєднанні з низькою вологістю повітря в період наливання зерна негативно позначаються на виконанні зернівки, знижується маса 1000 зерен і погіршуються пивоварні властивості ячменю. Заморозки у фазах молочної і воскової стиглості негативно впливають на зародок і погіршують посівні якості зерна. Морозобійне зерно має низьку схожість і абсолютно нездатні на насінні цілі. Повністю визріле зерно при вологості не вище 13-15% добре зберігає життєздатність при низьких, негативних температурах.

2.4 Вимоги ярого ячменю до вологи

Ячмінь - посухостійка культура, економніше витрачає вологу, ніж пшениця, жито і овес. Витрата води на утворення одиниці сухої речовини у ячменю складає 350-450. Відрізняючись коротким вегетаційним періодом, ячмінь багато вологи витрачає в перші фази зростання: кущіння і, особливо, виходу в трубку – колосіння. Так, у фазі кущіння – виходу в трубку ґрунтова посуха понизила врожайність ячменю на 21,7 – 40,3 %, тоді як у фазі виходу в трубку – колосіння – на 70,6 – 81,3 % [14, 17].

На початку розвитку ячмінь добре використовує запаси осінньо-зимової вологи і навіть за відсутності опадів навесні добре проростає, дає дружні сходи, утворює вторинну кореневу систему і кущитися. У посушливих умовах Центрально-чорноземної зони важливе значення придбаває накопичення максимальної кількості вологи до початку вегетації.

Нестача вологи в період утворення репродуктивних органів згубно діє на пилок ячменю. Стерильність частини пилку обумовлює збільшення числа безплідних колосків. Під час колосіння і наливання зерна важливе значення має не лише кількість опадів які випали, але і число дощових днів. Сильні

зливи викликають вилягання посівів, що знижує урожай і якість пивоварного ячменю. У посушливу погоду стебла у рослин у фазу молочної стиглості швидко підсихають, зерно утворюється дрібне і щупле [10, 15].

На окультурених добре і високородючих ґрунтах витрата води на утворення одиниці сухої речовини менша, ніж на ґрунтах малородючих. Більш економно ячмінь витрачає вологу при внесенні добрив.

2.5 Вимоги ярого ячменю до ґрунтів і живлення

Короткий вегетаційний період і слабка засвоююча здатність кореневої системи обумовлює високу вимогливість ячменю до родючості ґрунту. Найбільш високі урожаї ячменю отримують на родючих ґрунтах з глибоким орним горизонтом. У Центрально-чорноземній зоні кращі ґрунти для ячменю - чорноземи. З дерново-підзолистих ґрантів сприятливіші слабо опідзолені суглинні середній зв'язаності. Супіщані і піщані ґрунти без внесення добрив для обробітку ячменю малоприсадибні.

Погано росте ячмінь на кислих ґрунтах. Підвищена кислотність пригноблює життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів, тому такі ґрунти необхідно заздалегідь вапнувати [5].

Ґрунти, що відводяться під ячмінь, мають бути однорідним за змістом поживних речовин, вологоємкості і водопроникності. Для отримання високих урожаїв важливо забезпечити рослини на початку вегетації достатньою кількістю легкодоступних поживних елементів. Для отримання високих урожаїв важливо забезпечити рослини на початку вегетації достатньою кількістю легкодоступних поживних речовин, що можливо при розміщенні його по добре удобрених просапних попередниках. Ними є кукурудза, цукровий буряк, картопля.

Він відрізняється дуже швидким ходом вступу поживних речовин, особливо в початковий період зростання і розвитку. Через 3 тижні після

появи сходів рослини містять майже половину фосфору, що поглинається, і 2/3 калії, хоча органічної маси накопичується до цього часу менше 1/3 - Деякі але за умови забезпечення хорошим харчовим режимом впродовж усього періоду вегетації.

При правильному застосуванні добрив значно підвищується урожай ячменю, зростає стійкість рослин до посухи, хвороб, шкідників, покращується якість зерна. Він вимагає великої кількості легкодоступних поживних речовин в ґрунті в перший період свого зростання і розвитку. До кінця кушіння рослини ячменю поглинають близько половини азоту і фосфору і 75% калію від загального споживання (И.И. Беляков, 1985).

Винесення елементів живлення з урахуванням основної і побічної продукції ячменю на 1 тонну урожаю складає N - 26-29 кг, P - 11-12 кг, K- 24-26 кг. Ячмінь потребує азоту найбільше в період від початку кушіння до кінця колосіння, оскільки в цей період формується асимілюючий апарат рослин, йде розвиток втеч кушіння і формування колосу. Недолік азоту в цей період призводить не лише до зниження урожаю, але і до порушення утворення генеративних органів [15, 21, 36].

Фосфор потрібний ячменю впродовж усього періоду розвитку рослин, оскільки цей елемент входить до складу багатьох органічних і мінеральних сполук. Оптимальна забезпеченість молодих рослин фосфором сприяє хорошему розвитку кореневої системи і заставлянню великого колосу. Недолік цього елемента затримує зростання і розвиток рослини. Фосфор підвищує стійкість ячменю до хвороб і посухи [5-9].

Калій відіграє важливу роль у фізіологічних і біохімічних процесах. У рослинах він міститься головним чином в рухливій формі і сприяє пересуванню продуктів асиміляції з листя і інших органів. Калій регулює водний і азотний обмін, підвищує стійкість до вилягання, хвороб, прискорює дозрівання. Найбільшу кількість калію ячмінь споживає в перший період зростання. Недолік його Внесення в ґрунт калію підвищує ефективність і

зміст крохмалю. Фосфорні і калійні добрива підвищують пивоварні якості ячменю.

Кількість фосфорних і калійних добрив, що вносяться, варіює від 30 - 45 до 90-120 кг/га (наприклад, N - 30-45, P - 40-60, K- 60-90) залежно від змісту цих елементів в ґрунті. Ефективне припосівне внесення фосфору в дозі 10 - 15 кг д. р./га в рядки у вигляді суперфосфату, амофоса, діаммоній-фосфата та ін.

Ячмінь добре відгукується на післядію добрив, внесених під попередню культуру. Відомо, що з підвищенням рівня азотного живлення погіршуються пивоварні якості ячменю. Проте при нестачі азотного живлення не можна отримати високі урожаї. Тому необхідно прагнути до правильного балансу елементів живлення.

Оптимальний режим харчування рослин створюється при співвідношенні NPK в ґрунті 1: 2: 3. Залежно від типу і родючості ґрунту дози добрив конкретизують, домагаючись оптимального співвідношення елементів живлення для пивоварного ячменю.

Внесення мінеральних добрив здійснюють вітчизняним розкиданням РУМ, яке забезпечує найбільш рівномірний розподіл туков по поверхні або локальне внесення безпосередньо в ґрунт.

Дієвість мінеральних добрив залежить від часу їх внесення. Фосфорні і калійні добрива вносять восени під зяб, в глибші шари ґрунти, які зберігають досить вологи упродовж усього періоду вегетації. Одну половину азотних добрив (великі дози) можна вносити восени, використовуючи для осіннього внесення аміачні форми азоту, які не вимиваються з ґрунту, а другу навесні. На схилах щоб уникнути вимивання поживних речовин мінеральні добрива вносять навесні.

У КФХ "Іванова" не вносять мінеральні добрива. У зв'язку з цим в цілях вдосконалення інтенсифікації виробництва зерна ячменю в умовах господарства з добрив можна запропонувати амофос під основну обробку в дозі $N_{10}P_{52}$ кг/га д.р., або по 1 ц у фізичній масі. Це комплексне добриво,

технологічне для внесення. Також під основну обробку рекомендується вносити хлористий калій з розрахунку 60 кг/га д.р.

Навесні під передпосівну культивуацію плануємо вносити аміачну селітру в дозі 34 кг/га д.р.

2.6 Характеристика вирощуваних сортів ярого ячменю

За даними заявника рекомендується висівати при 100-ій господарській придатності 4,5 - 5,0 млн/га насіння. Сорт інтенсивного типу.

Термін посіву ранній - перші дні початку польових робіт.

На державних сортовипробних станціях отримали середній урожай 44,9 ц/га, що на 6,6% більше стандартів.

Сорт пивоварного призначення. Зміст білку 10, 2%, екстрактних речовин 82 %, пльоночність - 8-9% і крохмалю 62%.

До поразки борошнистою россою, жовтою ржею, смугастим гелмінтоспориозом – стійкий. Рекомендований для вирощування в зонах Степу і Полісся [6, 39].

Яровий ячмінь сорт Соборний.

Ячмінь Соборний - заявник Миронівський інститут пшениці ім. В.М. Ремесла. Середня сухостійкість. Різновид нутанс. Середньостійкий сорт проти літаючої і твердої самиці. Форма куща прямостояча. Рекомендований для вирощування в зоні Лісостепу. Колос дворядний, слабо звужений до верхівки, завдовжки 6-9 см, солом'яно-жовтий, середній щільності (на 4 см колосового стержня 11-13 члеників), слабо нахилиється. Стебло середньої висоти - 88 см, ясно-жовтий. Остистий, ости зазублені, гнучкі, перевищують довжину колосу в 1, 5 разу. Листя зелене. Перехід квіткової луски в ост поступовий. Щетина біля основи зернівки длинноволосистая. Зернівка велика, еліптичної форми. Маса 1000 зерен - 48 р. Середньостиглий, вегетаційний період 87-93 дні.

Стійкий до вилягання. Сухостійкості висока.

Яровий ячмінь Еней. Оригіатор: Селекційно-генетичний інститут - Національний центр сортовивчення і насіннезнавства НААН України.

Занесений в Реєстр сортів рослин України з 2008 року для вирощування в Степу, Лісостепу і Поліссі.

Різновид - нутанс. Тип розвитку - яровий. Рослини заввишки 70-80 см Середньостиглий, дозріває за 76-86 днів. Маса 1000 зерен 50-51 р. Сорт високоінтенсивного типу, має підвищену посухостійкість. Висока кущуватість, вирівненість стеблостою. Стійкий до вилягання. Слабо вражається гельмінтоспорозом.

Яровий ячмінь Вакула. Різновид - палідум.

Кущ прямостоячий, листя не опушене, проміжне, зелене. Колос шестирядний, середньої довжини (7-9 см), середньої щільності (на 4 см Колосового стержня 10-11 члеників), неламкий, слабо опущений, прямокутної форми з переходом в ромбічну, солом'яно-жовтий.

Ості довгі - 14-18 см, злегка розлогі, тонкі, еластичні, слабо зазублені, у верхній частині жовті, при обмолоті легко відділяються.

Колоскова луска тоненька, ніжна, з рідкими волосками. Квіткова луска середньо-зморшкувата, без зубчиків перехід в остюк поступовий, нервація добре виявлена. Основна щетина зерна коротка, довго волосяна.

Висота рослин 65-75 см зернівка. Високий урожай завжди гарантований якщо з весни склалися умови для нормального розвитку вузлової кореневої системи і в ґрунті є досить поживних речовин [5, 7].

За даними заявника рекомендується висівати при 100-процентній господарській придатності 4,5-5 млн./га насіння.

Сорт придатний для вирощування в умовах посухи і підвищеної кислотності ґрунтів.

Сорт має групову стійкість до сажкових хвороб, борошнистої роси гельмінтоспориоза.

На державних сортовипробних станціях отримали середній урожай 48,4 ц/га, що на 8,8 відсотків більше стандартів. Потенційна можливість сорту 105 ц/га.

Рекомендований для вирощування по зонах Лісостепу, Степу і Полісся.

Ячмінь яровий шестирядний сорт Геліос УА. Сорт ярового шестирядного ячменю універсального призначення Геліос УА внесений в Державний реєстр селекційних досягнень РФ з 2010 року, оригінатор - ЗАТ "Селену".

Патентовласник: Одеський селекційно-генетичний інститут (Україна). Біологічні особливості: середньостиглий сорт, вегетаційний період 75-90 днів. Висота рослини 70-80 см. Колос шестирядний, довгий, 8-10 см, неламкий, нещільний, солом'яно-жовтий. Ості довгі, 16-18 см, тонкі, паралельні, еластичні. При обмолоті легко відділяються.

Зерно велике, подовжено-овальної форми, жовте, вирівняне. Маса 1000 зерен 47,8-49,9 грам, зміст білку 7,9-10%.

Сорт універсального призначення, що дозволяє віднести його зі зниженими нормами висіву насіння.

Сорт ячменю Геліос УА має високу енергію проростання, тонкопленчатістю. Ячмінь Геліос має знижену фотоперіодичну чутливість, формує високий урожай при різних термінах приходу весни і в різних кліматичних зонах.

Сорт має групову стійкість до головневим захворюванням, борошністій росі, карликовій іржі (8-9 балів), смугастому гельмінтоспориозу, стійкістю до вилягання (7-8 балів).

За роки державного сортовипробування в Росії (2008-2009) максимальна врожайність склала 7-9 тонн з гектара, середня врожайність - 4,8-6,5 тонни з гектара.

ГЛАДИС (GLADYS) Limagrain - середньопізній - тип пивоварний - стійкий до борошністої роси - висока якість солоду - стабільно висока врожайність в усіх регіонах обробітку - великі зерна з великою масою 1000

насіння - рослини середньорослі Агрномічні характеристики: Толерантність до іржі: 7,5 Толерантність до ринхоспориозу: 6,3 Толерантність до сітчастої плямистості: 6 Стійкість до вилягання: 6

ДжейБи Флэйва (JB Flavour) Saatzucht Breun Яровий ячмінь (*Hordeum vulgare* L. sensu lato). Тип Короткостебловий сорт ярового пивоварного ячменю з високим потенціалом врожайності. Агрномічні достоїнства - Раннє колосіння; - Хороша стійкість у поєднанні з тим, що низьким, що никнуло стебла і колосу; - Дуже хороша стійкість до захворювань, особливо до карликової іржі і борошнистої роси.

КАНГУ (KANGOO) Limagrain - середньостиглий - тип: пивоварний - висока якість солоду - вибір пивних компаній Soufflet і Heineken - високий і стабільний урожай - стійкий до борошнистої роси - зерно велике. Агрномічні характеристики: Толерантність до іржі: 7 Толерантність до ринхоспориозу: 7 Толерантність до сітчастої плямистості: 7 Стійкість до вилягання: 7 Стійкість до ламкості стебла.

Квенч (Quench) Syngenta Маркетинг - Сорт №1 пивоварного ячменю в Європі. - 16 тис. га насінньоводческих площ в країнах Європи в 2012 р. - Допущений до виробництва в РФ і Україні з 2012 р.

КОНСЕРТО (CONCERTO) Limagrain - середньоранній - тип: пивоварний - висока якість солоду - зерно великий, низький зміст білку - дуже хороша врожайність - середньоросла рослина - стійка до борошнистої роси - стійкий до вилягання.

Агрномічні характеристики: Толерантність до іржі: 6-7 Толерантність до ринхоспориозу: 6 Толерантність до сітчастої плямистості: 7 Стійкість до ламкості стебла: 6 балу.

Консита (Conchita) KWS Яровий ячмінь (*Hordeumvulgare* L. sensulato) Оригинатор: KWS LOCHOW GMBH Родовід: Viskosa x LP 629.1.95 Включений в Держреєстр по 5 регіону Тип Високоврожайний пивоварний ячмінь. Якості - дуже висока екстрактивність солоду; - висока маса тисячі

насіння: 46-55 г; - висока натура зерна; - дуже висока міра кінцевого зброджування; - низький вміст сирого протеїну.

Марни (Marnie) Saatzucht Breun Яровий ячмінь (*Hordeum vulgare L. sensu lato*) Родовід: 4908d58 x (Prisma x 4714a2) Включений в Держреєстр по Центрально-чорноземному (5) регіону. Тип Високоврожайний тип пивоварного ячменю з високою мірою стійкості. Якості - Маса 1000 зерен 43-52 г; - Максимальна врожайність 87,1; - Середня врожайність в регіоні - 34,3 ц/га, на рівні середнього стандарту.

Ронни (Ronny) Saatzucht Breun, яровий пивоварний ячмінь включений в державний реєстр в 2013 році. Агротехніка Дуже висока врожайність. Ранній розвиток і раннє низькій нормі висіву і умовах посухи. Дуже висока кущуватість.

Саншайн (Sunshine) Saatzucht Breun. Яровий ячмінь (*Hordeum vulgare L. sensu lato*). Тип Пивоварний ячмінь відмінної якості з високою врожайністю. Якості - високі показники диастатичної сили; - дуже висока екстрактивність солоду; - дуже висока міра кінцевого зброджування; - висока рихлість. Агрономічні достоїнства - високий потенціал врожайності - раннє дозрівання, приблизно на 3 дні раніше, ніж у Скарлетт.

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 длібноперіодні 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 [21, 22, 29, 40].

В Україні значні розробки по створенню методів оцінки агрометеорологічних умов і прогнозуванню врожайності сільськогосподарських культур виконані в рамках створеного В.П Дмитренко [16, 17, 23] направлення на основі запропонованої ним моделі врожайності сільськогосподарських культур. У роботах В.С. Антоненко [11], В.С. Антоненко і Н. І. Гойса [18] запропонована параметрозаційна модель формування врожаю озимої пшениці в Україні в період весняно-літньої вегетації, в пізнішій роботі В.С. Антоненко [11] 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 [20], Аллена та ін. У цій моделі листя також розділені на класи по освітленості, фотосинтез листа враховується формулою Шартъє. Вперше врахована залежність устїчного опору від радіації. Детально враховані турбулентність, режим CO₂ 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 періоді 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 та ін. модель ярої пшениці [34]. 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 листової 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, 22] (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 Φ_A , 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 [37, 24] в (СНД). Розподіл асимілянтів проведено на підставі ростових функцій Росса.

У США розроблено дві моделі для озимої пшениці [25, 26]. У першій, призначеній для аридної зони, швидкість накопичення сухої біомаси розглядається прямо пропорційною вже наявній сухій біомасі з урахуванням зовнішніх факторів (температури, вологості ґрунту, вмісту азоту в ґрунті), введених у вигляді безрозмірних функцій. У другій моделі щоденне накопичення сухої біомаси оцінюється за різницею між загальним фотосинтезом (як функції водопостачання та сонячної радіації) і денним і нічним диханням (як функції 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 [23, 29, 30, 37-40].

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 листової 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 [25].

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 [26].

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 [15] і У.А. Цубербіллер [27], полягання посівів по А.Д. Пасечнюк [8], «стікання» зерна за І.В. Свисюку [28].

У роботі А.Н. Польового і Н.І. Кульбіді [29] 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 [33-35, 38-40].

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 ґрунт - 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 [14].

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.

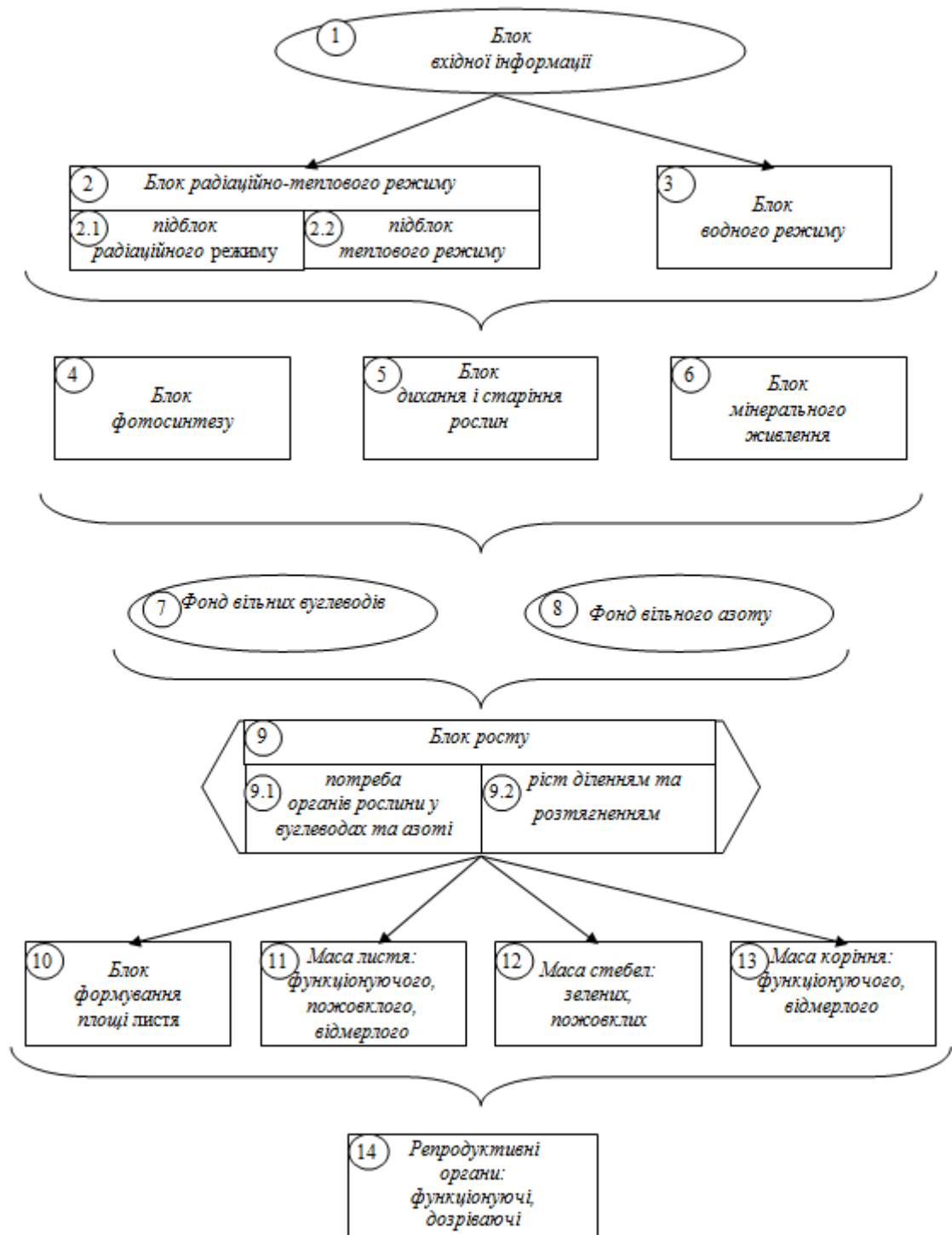


Рисунок 3.1 - Блок-схема базової динамічної моделі формування урожаю сільськогосподарських культур.

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:

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

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

де Q_o - сумарна короткохвильова радіація над верхньою межею РП;

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

a_Q - функція пропускання сумарної радіації РП.

Альbedo рослинного покриву визначається за формулою

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

де

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

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

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

де α_S - альbedo поверхні ґрунту;

α_S^{\max} , α_S^{\min} - альbedo сухого і досить зволоженого ґрунту;

W_{SS} - вологість поверхневого шару ґрунту;

W_{WP} - вологість стійкого в'янення;

W_{FC} - найменша вологоємність ґрунту.

Функцію пропускання сумарної радіації знаходимо за формулою

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

де c_2, c_3 - емпіричні постійні;

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

Величини балансу довгохвильової радіації визначаються за такими формулами:

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

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

де F_A - противипромінювання атмосфери

ε_L і ε_S - коефіцієнти сірості листя і ґрунту;

σ - постійна Стефана-Больцмана;

T_L, T_S - температура листя і ґрунту;

k - емпіричний параметр орієнтації листя.

Противипромінювання атмосфери визначається за виразом

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

де T_a - температура повітря;

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

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

Потік тепла у ґрунті приймається пропорційним радіаційному балансу поверхні ґрунту

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

де c_{BS} - емпірична постійна.

Сумарна короткохвильова радіація визначається за формулою

$$Q_o = A_1 \left(\left(+ S \right)^{A_2} \exp \left(- \frac{A_3 S}{\tau} \right) + A_4 \exp \left[- A_5 \left(- \frac{S}{\tau} \right) \operatorname{inh}_0 \left(\frac{A_6}{\tau} \right) \right] \right) \quad (3.13)$$

де $A_1 - A_6$ - константи;

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

3.4 Моделювання водного режиму рослинного покриву

Вологоперенесення у ґрунті. Рівняння потоку води в системі ґрунт - корінь розглядається одночасно як для насиченого так і ненасиченого середовища

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

де ψ - потенціал тиску ґрунтової вологи;

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

$K(\Theta)$ - гідравлічна провідність;

Θ - об'ємна вологість;

$S(\psi)$ - поглинання води коренями;

t - час; z - вертикальна координата.

Як початка умова ($t = 0$) задається

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

За граничні умови приймається:

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

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

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

- на поверхні ґрунту z_0 (верхня межа)

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

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

де P_s - кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту;

E - випаровування з поверхні ґрунту;

J_{\max} - максимально можлива інтенсивність інфільтрації при вологості ґрунту на його поверхні, дорівнює Θ_{\max} .

Кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту, знаходиться як

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

де P_o - кількість опадів, що випали;

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

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

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

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

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

приймаємо, що

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

де T_r - транспірація;

$f_{\text{depth}}^{\text{root}}$ - функція розподілу коренів на глибині;

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

Транспірація рослинного покриву визначається за формулою Пенмана

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

де Δ - нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря;

γ_{ef} - ефективна психрометрична постійна;

R_L - радіаційний баланс РП;

ET_{pot} - випаровуваність;

λ - прихована теплота пароутворення.

Випаровуваність визначається за допомогою рівняння

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

де e_s - тиск насиченої пари при даній температурі повітря;

e_a - фактичний тиск водяної пари;

ρ - густина повітря;

c_p - теплоємність повітря;

r_a - опір примежового шару.

Ефективна психрометрична постійна знаходиться за формулою

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

де γ - психрометрична постійна;

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

Опір примежового шару визначається за виразом

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

де d_o - висота шару витіснення;

z_o - висота шару шорсткості;

χ - постійна Кармана;

u - швидкість вітру на висоті z .

Продиховий опір визначається за формулою

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

де g_n , g_x , p_r - емпіричні параметри.

Випаровування з поверхні ґрунту E_S визначається як

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

Рівень ґрунтових вод визначається за методом Шебеко:

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

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

або

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

де

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

і величина V_p знаходиться як

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

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

I_w - інфільтрація;

V_p - розрахункове підживлення в зону аерації з ґрунтових вод;

W_n - початковий вміст вологи у ґрунті;

ET - сумарне випаровування;

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

k_w - коефіцієнт водовіддачі.

3.5 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин

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

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

де C_{lab} - фонд вільних вуглеводів;

Φ - маса продуктів фотосинтезу;

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

R - витрати вуглеводів на дихання рослин.

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

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

де Φ_{pot} - інтенсивність потенційного фотосинтезу;

a_C - нахил вуглекислотної кривої фотосинтезу;

C_0 - концентрація CO_2 у повітрі;

a_{Φ} - нахил світлової кривої фотосинтезу;

Π - поглинена рослинним покривом фотосинтетично активна радіація;

α_{Φ} - онтогенетична крива фотосинтезу;

Ψ_{Φ} - температурна крива фотосинтезу;

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

При стресових умовах і *старінні рослин* відбуваються процеси розпаду тканин. Ці процеси описуються рівняннями кінетики ферментативного каталізу. При достатньо високій концентрації гідролізуемого субстрату, швидкість розпаду може бути описана рівнянням реакції нульового порядку, а при достатньо низькому - рівнянням реакції першого порядку [40]:

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

і

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

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

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

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

C_{crit} - критична кількість вуглеводів, що визначають початок реакції розпаду як реакції першого порядку;

C_i - кількість вуглеводів тканин, які старіють.

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

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

де C_G - коефіцієнт витрат на дихання росту;

C_m - коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

α_R - онтогенетична крива дихання;

dm/dt - приріст біомаси рослин;

m - маса рослин;

φ_R - температурна крива дихання.

3.6 Моделювання росту рослин

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

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

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

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

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

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

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

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

де

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

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

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

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

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

Приріст стебел у висоту визначається як

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

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

dm_s/dt - приріст маси стебел;

ρ - питома щільність стебел;

r_s - радіус стебел;

N_s - кількість стебел на одну рослину.

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

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

де $m_{l\,fal}$ - маса опалого листя;

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

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

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

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

Маса відмерлих коренів знаходиться за співвідношенням

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

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

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

Блок фотосинтезу. Фотосинтез представляється формулою:

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

де Φ_o^j – інтенсивність фотосинтезу за оптимальних умов теплоти вологозабезпеченості в реальних умовах освітлення, мгСО₂/(дм²·г);

k – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні та нормальній концентрації СО₂, мгСО₂/(дм²·г);

b – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу, мгСО₂/(дм²·г);

I – інтенсивність фотосинтетично активної радіації (ФАР) всередині посіву, кал/(см²·хв);

j – номер кроку розрахункового періоду.

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

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

де Φ_{τ}^j – інтенсивність фотосинтезу в реальних умовах середовища, мгСО₂/(дм²·г);

α_{ϕ}^j – онтогенетична крива фотосинтезу;

$\psi_{\phi}^j, \gamma_{\phi}^j$ – функції впливу факторів зовнішнього середовища,

які представляють собою одновершинні криві.

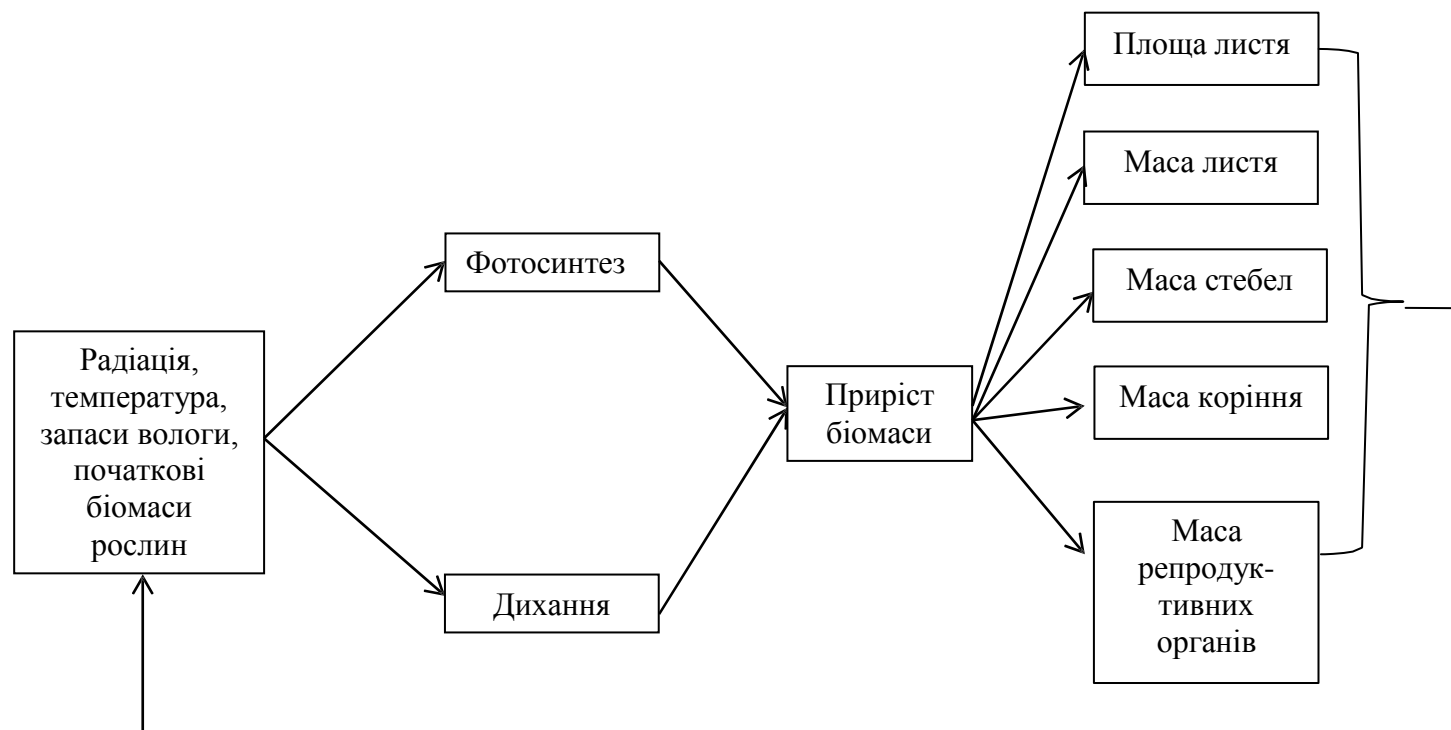


Рисунок 3.1 – Блок-схема прикладної динамічної моделі формування врожаю сільськогосподарських культур.

Функції α_{ϕ}^j , ψ_{ϕ}^j , γ_{ϕ}^j – нормовані та змінюються від 0 до 1.

Сумарний фотосинтез посіву за світлу пору доби розраховується за формулою:

$$\Phi^j = \varepsilon \Phi_{\tau}^j L^j \tau_g^j, \quad (3.3)$$

де Φ – денний фотосинтез посіву на одиницю площі, г/(м² день);

$\varepsilon = 0,68$ – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;

L – площа листя м²/м²;

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:

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

де R – витрати на дихання, г/м² ;

α_R – онтогенетична крива дихання;

c_1 – коефіцієнт, який характеризує витрати на підтримку структури;

M – суха біомаса посіву, г/м²;

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:

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

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

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

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

де m_i – загальна суха біомаса окремих органів $i \in l, s, r, p$ (l – листя, s – стебла, r – коріння, p – репродуктивні органи), г/м²;
 β_i – функція перерозподілу свіжих "асимілятів";
 v_i – функція перерозподілу "старих" асимілятів.

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

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

де z – питома поверхнева площа листя, г/м².

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

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

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:

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

де I_o^j – поглинена сонячна радіація, кал/(см²/хв);

$C = 0,5$ – емпірична стала величина;

L – площа листя, м²/м².

Потік ФАР на верхню межу посіву визначається з формули:

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

де Q – сумарна сонячна радіація, кал/ (см²/доб).

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

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

де S – тривалість сонячного сьйва, год;

h_o - полуденна висота Сонця.

Середня за світлу пору доби температура повітря розраховується з формули:

$$T_g = a_1 T_{\max} + a_0, \quad (3.12)$$

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

a_0 , a_1 – емпіричні коефіцієнти.

4 АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА УМОВ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В КІРОВОГРАДСЬКІЙ ОБЛАСТІ

4.1 Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю

Урожайність ярого ячменю залежить від багатьох факторів, серед яких найважливішими є світло, тепло, волога, мінеральне живлення та ін. Зміни клімату, які особливо відчутні в останнє десятиліття спричиняють зміну агрокліматичних умов вирощування ярого ячменю.

Зміна агрокліматичних умов вирощування ярого ячменю спричиняє зміну темпів розвитку культури, показників фотосинтетичної продуктивності і, як наслідок, урожаю зерна. Нами було розглянуто вплив змін клімату на вирощування ярого ячменю на території Кіровоградської області.

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

Детальний аналіз динаміки росту, розвитку та показників фотосинтетичної продуктивності посівів ярого ячменю в умовах зміни клімату проводилось на прикладі Вінницької області за періоди: 1986-2005рр. (прийнятий як базовий період), за періоди 2011-2030р.р. (перший розрахунковий період) та за період 2031 – 2050 р.р. (другий розрахунковий період). Для оцінки можливих змін клімату було використано 2 сценарії: «помірний» - *A1B*, який передбачає рівновагу між усіма джерелами енергії, та

«жорсткий» - *A2*, який передбачає невизначеності стосовно визначальних факторів і базується на використанні різних концепцій моделювання, які застосовують аналогічні припущення стосовно визначальних факторів.

Одним із найпростіших методів відображення можливих змін у кліматичному режимі будь-якої метеорологічної величини є порівняння з минулими даними, зокрема, середніми багаторічними за базовий період. В даному дослідженні за базовий береться період з 1986 по 2005 рр. у відповідності з агрокліматичним довідником України [1-4].

Коли розглядаються зміни клімату, то як критерії таких змін найчастіше використовуються тренди глобальних температур і опадів [41].

Аналіз тенденції впливу зміни клімату на темпи розвитку ярого ячменю в Кіровоградській області виконано шляхом порівняння показників за базовий період (1986 – 2005 рр.) і розрахованих за кліматичними сценаріями *A1B*, *A2* показників за два періоди: 2011 – 2030 рр. – перший період, 2031 – 2050 рр. – другий період.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2*, терміни сівби ярого ячменю в Кіровоградській області в середньому багаторічному спостерігались на початку квітня (5.IV). Терміни сівби ярого ячменю і в перший і другий періоди змістяться на більш ранні строки. В Кіровоградській області термін сівби ярого ячменю в перший розрахунковий період зміститься на 2 днів раніше в порівнянні з середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) (табл. 4.1). А в другий розрахунковий період терміни сівби змістяться на 4 днів раніше в порівнянні з середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.).

Сходи ярого ячменю за середньо багаторічними даними спостерігались 20.IV, колосіння – наприкінці першої декади червня, воскова стиглість - наприкінці першої декади липня. Розрахунки очікуваних дат настання фаз розвитку за сценарієм *A2* показують, що сходи в перший розрахунковий період наставатимуть в терміни, близькі до середніх багаторічних.

Таблиця 4.1 – Фази розвитку ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *A2* в періоди (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Посів	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Кіровоградська область					
1986-2005	5.IV	20.IV	9.VI	10.VII	96
2011-2030	9.IV	20.IV	11.VI	15.VII	128
Різниця	-2	-	+2	+5	+32
2031–2050	1.IV	13.IV	6.VI	9.VII	99
Різниця	-4	-7	-3	-1	+3

Настання наступних фаз розвитку ярого ячменю в перший період буде запізнюватись в порівнянні з середніми багаторічними термінами на 2 - 5 днів. В період з 2031 по 2050 рр. сходи з'являться на 7 днів раніше середніх багаторічних, колосіння настане на три дні раніше, ніж в базовий період, а дата воскової стиглості буде близькою до середньої багаторічної.

Тривалість вегетаційного періоду в Кіровоградській області за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) становила 96 днів, а за сценарієм зміни клімату в період 2011-2030 рр. тривалість вегетаційного періоду зросте до 128 днів, що на 32 дні більше середньої тривалості базового періоду. В період з 2031 по 2050 рр. тривалість вегетаційного періоду становитиме 99 днів, тобто буде майже на рівні середньої багаторічної тривалості вегетаційного періоду (всього на 3 дні більше).

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B*, терміни сівби ярого ячменю змістяться на більш ранні строки, тобто на 2-11 днів в порівнянні з середніми багаторічними даними базового періоду (табл. 4.2).

В Кіровоградській області середні багаторічні терміни сівби ярого ячменю спостерігались всередині першої декади квітня (5. IV). Сходи з'являлись через 15 днів (20.IV) колосіння наставало наприкінці першої декади червня (9. VI), а воскова стиглість – наприкінці першої декади липня (10.VII).

Таблиця 4.2 – Фази розвитку ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *A1B* в періоди (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Посів	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Кіровоградська область					
1986-2005	5.IV	20.IV	9.VI	10.VII	96
2011-2030	3.IV	16.IV	5.VI	6.VII	94
Різниця	-2	-4	-4	-4	-2
2031–2050	25.III	12.IV	5.VI	5.VII	102
Різниця	-11	-8	-4	-5	+6

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в період 2011 – 2030 рр. дата сівби співпадатиме з середньою багаторічною а дата сходів наставатиме на 4 дні раніше, ніж в базовий період. В другий період (2031 – 2050 рр.) терміни сівби ярого ячменю наставатимуть на 11 днів раніше, ніж в базовий період, а дата сходів – на 8 днів раніше. Строки колосіння та воскової стиглості (табл. 4.2) за умов реалізації сценарію зміни клімату в обидва розрахункові періоди будуть наставати на 4 – 5 днів раніше середніх багаторічних.

Тривалість періоду сівба – воскова стиглість в області в середньому багаторічному становила 96 днів. За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший розрахунковий період (2011 – 2030 рр.) (табл. 4.2) тривалість періоду майже співпадатиме з середніми багаторічними значеннями (94 дні). В другий розрахунковий період (2031-2050 рр) вона становитиме 102 дні, що на 6 днів більше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.).

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період (2011 – 2030 рр.) середня температура в період від сходів до колосіння становитиме 14,3°C в Кіровоградській області, що буде майже на рівні середніх багаторічних значень базового періоду (табл. 4.3).

В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде близькою до середніх багаторічних значень і складатиме 14,1 °C (табл. 4.3).

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період від сходів до колосіння збільшиться на 87 %. В другий розрахунковий період опади теж будуть збільшуватись – на 108 %.

Сумарне випарування в перший розрахунковий період від сходів до колосіння зросте і становитиме в Кіровоградській області до 103 мм, що на 37 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період сумарне випарування збільшиться в Кіровоградській області до 120 мм, що на 60 % вище, ніж в базовий період.

Як показують розрахунки за сценарієм *A2* в перший період випаровуваність від сходів до колосіння становила 220 мм, що на 20 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність збільшиться на 36 % в порівнянні з базовим періодом.

Дефіцит вологості в перший розрахунковий період від сходів до колосіння незначно зросте і становитиме в Кіровоградській області до 157 мм, що на 11 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий

період дефіцит вологості збільшиться лише на 24 % в порівнянні з базовим періодом.

Випаровуваність за середніми багаторічними значеннями складала 216 мм за період від сходів до колосіння. Як показують розрахунки за сценарієм *A2* в перший період випаровуваність від сходів до колосіння становила 260 мм, що на 20 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність збільшиться в Кіровоградській області до 294 мм, що на 36 % вище, ніж в базовий період.

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість в період від сходів до колосіння складала 0,47 відн.од. Вологозабезпеченість, як в перший, так і в другий розрахункові періоди від сходів до колосіння в Кіровоградській області зросла на 13- 15 % в порівнянні з базовим періодом і коливалася від 0,53 до 0,56 відн.од.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період (2011 – 2030 рр.) середня температура в період від колосіння до воскової стиглості становитиме 19,1°C в Кіровоградській області.

В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде меншою від середніх багаторічних значень на 0,2 і складатиме 19,2 °C (табл. 4.3).

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період від колосіння до воскової стиглості зменшиться на 14 %. В другий розрахунковий період опади будуть зменшені від середньо багаторічних значень на 25 %.

В базовий період сумарне випарування в період від колосіння до воскової стиглості складало 98 мм. Сумарне випарування в перший розрахунковий період від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Кіровоградській області до 70 мм, що на 13 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період сумарне випарування зменшиться на 29 % в порівнянні з базовим періодом і складатиме 57 мм.

Таблиця 4.3 – Агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986 – 2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	сходи – колосіння						колосіння – воскова стиглість						Вегетаційний період	
	серед- ня темпе- ра- тура, °C	сума опа- дів, мм	сумар- не випаро- вуван- ня, мм	випаро- -вуван- ність, мм	дефіцит воло- гості , мм	волого- забезпе- ченність, відн.од	серед- ня темпе- ратура, °C	сума опа- дів, мм	сумар- не випа- ро- вуван- ня, мм	випар- ову- ванні сть, мм	дефіци- т воло- гості у, мм	воло- гоза- безпе- чен- ність, відн. од	сума опа- дів, мм	волого- забезпе- ченність, відн.од
	Кіровоградська область													
1986 – 2005	14,2	60	75	216	141	0,47	19,4	98	80	220	140	0,48	158	0,47
2011 – 2030	14,3	112	103	260	157	0,53	19,1	84	70	177	106	0,54	196	0,53
Різниця	+0,1	+87%	+37%	+20%	+11%	+13%	-0,3	-14%	-13%	-20%	-24%	+12%	+24%	+13%
2031 – 2050	14,1	125	120	294	175	0,54	19,2	73	57	140	83	0,54	198	0,54
Різниця	-0,1	108%	60%	36%	24%	15%	-0,2	-25%	-29%	-36%	-41%	12%	25%	15%

Як показують розрахунки за сценарієм *A2* в перший період випаровуваність від колосіння до воскової стиглості становила 177 мм, що на 20 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність зменшилася на 36 % в порівнянні з базовим періодом.

Дефіцит вологості в перший розрахунковий період від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Кіровоградській області до 106 мм, що на 24 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості зменшиться на 36 % в порівнянні з базовим періодом.

Розрахунки за сценарієм *A2* показують, що в перший період випаровуваність від колосіння до воскової стиглості становила 177 мм, що на 20 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості зменшиться на 36 % в порівнянні з базовим періодом і складатиме 140 мм.

Вологозабезпеченість за середніми багаторічними даними в період від колосіння до воскової стиглості складала 0,48 відн.од. В перший та другий розрахункові періоди від колосіння до воскової стиглості в Кіровоградській області вологозабезпеченість складатиме 0,54 відн.од., що на 12 % більше в порівнянні з базовим періодом.

Сума опадів за середньо багаторічними даними за вегетаційний період складала 158 мм. За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший та другий розрахункові періоди сума опадів за вегетаційний період зросте на 24 - 25 % в порівнянні з середньо багаторічними значеннями.

Вологозабезпеченість за вегетаційний період за середньо багаторічними даними складала 0,47 відн.од. Вологозабезпеченість, як в перший, так і в другий розрахункові періоди за вегетацію в Кіровоградській області зростає на 13- 15 % в порівнянні з базовим періодом і коливалася від 0,53 до 0,54 відн.од.

За середніми багаторічними даними середня температура за період сходи колосіння складала 14,2°C.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період (2011 – 2030 рр.) середня температура в період від сходів до колосіння становитиме 14,6°C в Кіровоградській області.

В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде близькою до середніх багаторічних значень і складатиме 14,1 °C (табл. 4.4).

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період від сходів до колосіння збільшиться лише на 5 %. В другий розрахунковий період опади теж будуть збільшуватись до 15 %.

Сумарне випарування в перший розрахунковий період від сходів до колосіння зросте і становитиме в Кіровоградській області до 128 мм, що на 70 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період сумарне випарування збільшиться лише на 21 % в порівнянні з базовим періодом.

Як показують розрахунки за сценарієм *A1B* в перший період випаровуваність від сходів до колосіння становила 292 мм, що на 35 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність збільшиться лише на 20 % в порівнянні з базовим періодом.

Дефіцит вологості в перший розрахунковий період від сходів до колосіння зросте і становитиме в Кіровоградській області до 183 мм, що на 30 % вище, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості збільшиться лише на 19 % в порівнянні з базовим періодом.

Вологозабезпеченість як в базовий так і в другий розрахунковий період від сходів до колосіння в Кіровоградській області складатиме 0,47 відн.од. В перший розрахунковий період вологозабезпеченість збільшиться лише на 4 % в порівнянні з базовим періодом.

Таблиця 4.4 – Агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *A1B* в перший (2011-2030 рр.) і другий(2031-2050 рр.) періоди

Періоди розрахунку	сходи – колосіння						колосіння – воскова стиглість						Вегетаційний період	
	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	дефіцит вологості, мм	волого з вологозабезпеченість, відн.од	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	дефіцит вологості, мм	вологозабезпеченість, відн.од	сума опадів, мм	вологозабезпеченість, відн.од
	Кіровоградська область													
1986 – 2005	14,2	60	75	216	141	0,47	19,4	98	80	220	140	0,48	158	0,47
2011 – 2030	14,6	63	128	292	183	0,49	20,5	63	51	138	87	0,49	126	0,49
Різниця	+0,4	5%	70%	35%	30%	+4%	+1,1	-35%	-35%	-36%	-37%	2%	-20%	+4%
2031 – 2050	14,1	69	91	259	168	0,47	20,1	75	58	182	124	0,43	144	0,45
Різниця	-0,1	15%	21%	20%	19%	-	+0,7	-23%	-27%	-17%	-11%	-10%	-9%	-4%

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період (2011 – 2030 рр.) середня температура в період від колосіння до воскової стиглості становитиме 20,5°C в Кіровоградській області.

В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде більшою від середніх багаторічних значень на 0,7 і складатиме 20,1 °C (табл. 4.4).

Сума опадів за середніми багаторічними даними в Кіровоградській області за період від колосіння до воскової стиглості становили 98 мм. Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період від колосіння до воскової стиглості зменшаться на 35 %. В другий розрахунковий період опади будуть близькими до середньо багаторічних значень.

Сумарне випарування в перший розрахунковий період від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Кіровоградській області до 51 мм, що на 35 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період сумарне випарування складатиме 58 мм, що на 27 % нижче в порівнянні з базовим періодом.

При розрахунках за сценарієм *A1B* в перший період випаровуваність від колосіння до воскової стиглості становила 138 мм, що на 36 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період випаровуваність зменшилася на 17 % в порівнянні з базовим періодом. В базовий період випаровуваність складала 220 мм.

В перший розрахунковий період дефіцит вологості від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Кіровоградській області до 87 мм, що на 37 % нижче, ніж в базовий період. В другий розрахунковий період дефіцит вологості зменшиться лише на 11 % в порівнянні з базовим періодом.

За середніми багаторічними даними вологозабезпеченість становила 0,48 відн.од. В перший розрахунковий період вологозабезпеченість буде близька до середньо багаторічним даним.

В другий розрахунковий період вологозабезпеченість від колосіння до воскової стиглості зменшиться і становитиме в Кіровоградській області до 0,43 відн.од., що на 10 % нижче, ніж в базовий період.

Сума опадів за середньо багаторічними даними за вегетаційний період складала 158 мм.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період сума опадів за вегетаційний період зменшиться на 20 %. В другий розрахунковий період опади за вегетаційний період зменшаться на 9 % в порівнянні з середньо багаторічними значеннями.

Вологозабезпеченість за вегетаційний період в перший період зменшиться на 4 %, а в другий період збільшиться на 4 % в порівнянні з базовим періодом.

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

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

Показники фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю розраховані за сценарієм *A2* для всіх варіантів в Кіровоградській області наведені табл. 4.5.

Площа листя ярого ячменю в Кіровоградській області в період максимального розвитку в перший період (2011-2030 рр.) зросте до $0,93 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто буде вищою ніж в базовий період і складатиме $2,63 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

При збільшенні CO_2 до 470 *ppm* площа листя ярого ячменю зросте ще більше і становитиме $2,86 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто в порівнянні зі середнім багаторічним в буде вище на 62 %.

Таблиця 4.5 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Варіант	Площа листя в період максимального розвитку, м ² /м ²	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м ² дек	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м ² дек	Суша біомаса, г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²	Урожай, ц/га
Кіровоградська область							
1986-2005	Базовий	1,7	80	122	434	74	25
2011-2030	Клімат	2,63	83	212	741	122	42
	Клімат + CO ₂	2,86	85	237	824	131	46
2031-2050	Клімат	3,17	81	242	843	140	47
	Клімат + CO ₂	3,48	83	272	941	152	53

В другий період (2031 – 2050 рр.) збільшення площі листя буде продовжуватись в порівнянні з базовим періодом і в порівнянні з першим періодом та становитиме в Кіровоградській області – 3,17 та 3,48 м²/м², що більше на 86 та 104 % відповідно в порівнянні з базовим періодом.

Розглянемо тепер як змінюватимуться показники фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за сценарієм зміни клімату А2 впродовж періоду вегетації ярого ячменю.

Приріст маси в період максимального розвитку за середніми багаторічними даними становила 122 г/м² ·дек. В перший розрахунковий період приріст маси в період максимального розвитку складатиме 212 г/м² ·дек., що на 90 г/м² ·дек. більше ніж в базовий період. В умовах збільшення СО₂ приріст маси в період максимального розвитку ярого ячменю зросте до 237 г/м² ·дек.

В другий розрахунковий період приріст маси в період максимального розвитку складатиме 242 г/м² ·дек. В умовах збільшення СО₂ приріст маси в період максимального розвитку ярого ячменю зросте до 272 г/м² ·дек., що на 150 г/м² ·дек. більше ніж в базовий період.

Збільшення площі листя сприятиме зростанню фотосинтетичного потенціалу і в перший період за сценарієм А2 в Кіровоградській області він становитиме 122 м²/м², що на 48 м²/м² більше в порівнянні з базовим періодом (табл. 4.5).

В другий період значення фотосинтетичного потенціалу зросте до 140 м²/м², що на 66 м²/м² більше, ніж в базовий період. В умовах збільшення СО₂ фотосинтетичний потенціал ярого ячменю зросте в Кіровоградській області до 152 м²/м².

В Кіровоградській області максимальна площа листя ярого ячменю в базовий період спостерігалась в п'яту декаду і становила до 1,87 м²/м². За сценарієм А2 площа листя ярого ячменю в обидва розрахункові періоди спостерігатиметься в шостій декаді та зросте на 0,93 м²/м² та 1,47 м²/м² порівняно з базовим. В умовах збільшення СО₂, в Кіровоградській області

площа листя ярого ячменю зростає до шостої декади вегетації і максимальне значення площі листя ярого ячменю при цьому становитиме $2,86 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в період 2011 – 2030 рр. та $3,48 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в період 2031 – 2050 рр. (рис. 4.1).

Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Кіровоградській області в базовий період зростала до четвертої декади вегетації і становила $80 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{дек}$. Максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу за сценаріями зміни клімату *A2* в обидва розрахункові періоди та у варіанті збільшення CO_2 теж зростатиме до четвертої декади вегетації і становитиме $83 - 85 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{дек}$ відповідно (рис. 4.2).

В Кіровоградській області суха маса ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), почала накопичуватись з четвертої декади вегетації і тривала до восьмої і становила $292 \text{ г}/\text{м}^2$ (рис. 4.3). За сценарієм зміни клімату *A2* (2011-2030 рр.) в Кіровоградській області суха маса ярого ячменю почне накопичуватись з четвертої декади вегетації, триватиме до дев'ятої декади вегетації і складатиме $486 \text{ г}/\text{м}^2$.

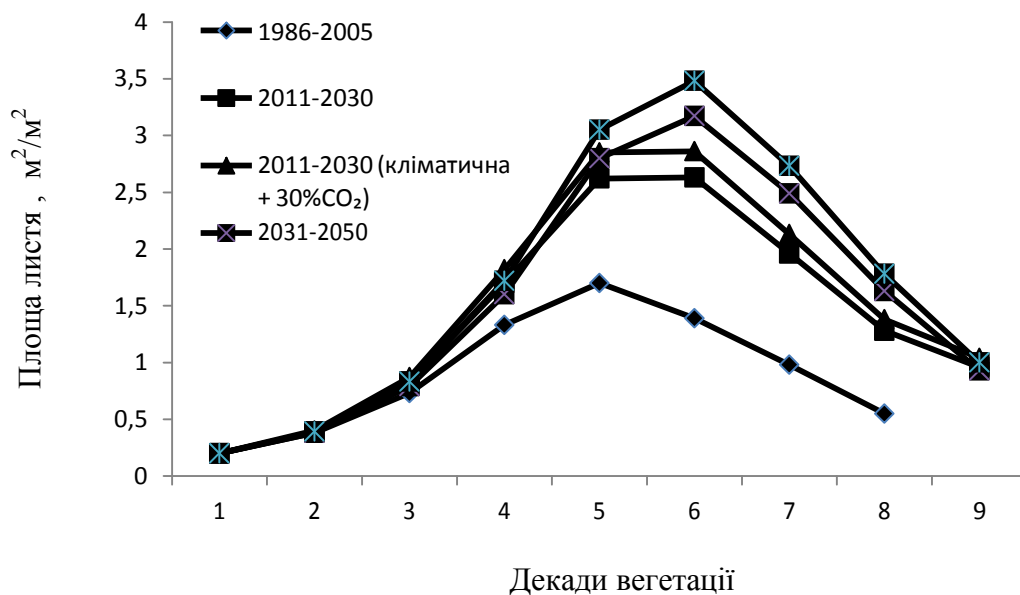


Рисунок 4.1 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Кіровоградській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *A2* (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

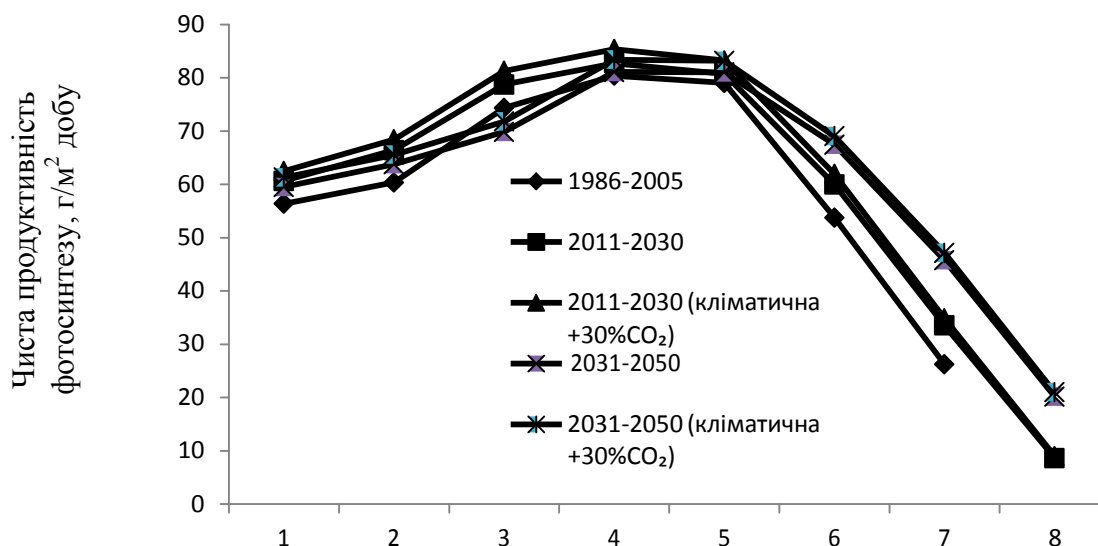


Рисунок 4.2 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Кіровоградській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

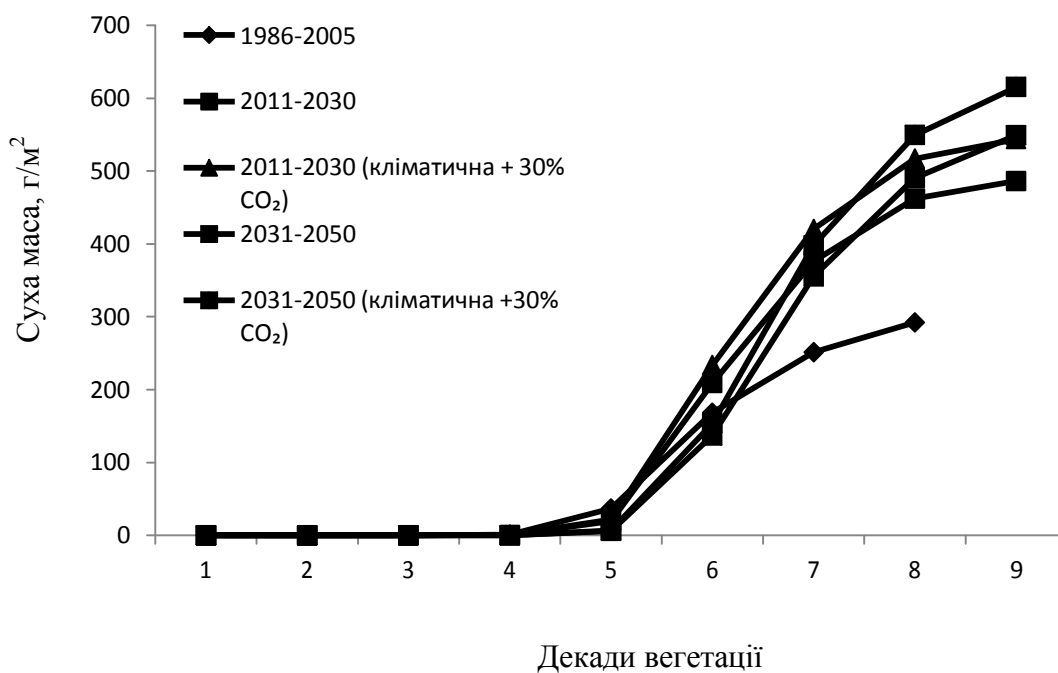


Рисунок 4.3 – Суха маса ярого ячменю в Кіровоградській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

В умовах збільшення CO_2 динаміка накопичення сухої маси збережеться, але рівень її буде вищим і становитиме 544 г/м^2 . За сценарієм зміни клімату в другий період (2031-2050 рр.) суха маса ярого ячменю в дев'яту декаду вегетації становитиме 549 г/м^2 , тобто буде майже на рівні попереднього періоду. В умовах збільшення CO_2 в дев'ятій декаді суха маса становитиме 615 г/м^2 .

Збільшення показників фотосинтетичної продуктивності посівів сприятиме збільшенню врожаю зерна.

Середній урожай в базовому періоді становив 25 ц/га.

За сценарієм зміни клімату *A2* в перший період врожай зросте в Кіровоградській області – до 42 ц/га. Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 ppm суттєво підвищить рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів і, як результат, збільшення показників фотосинтетичної продуктивності. Очікуваний урожай ярого ячменю становитиме 46 ц/га, що на 11 ц/га більше порівняно з базовим періодом (табл. 4.5).

В другий період (2031-2050 рр.) збільшення врожаю продовжиться до 47 ц/га, що на 22 ц/га більше середнього багаторічного .

Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 ppm в другий період спричинить підвищення врожаю зерна в Кіровоградській області – до 53 ц/га, що на 29 ц/га вище середнього багаторічного і на 7 ц/га вище такого ж варіанту в першому періоді.

Очікувані зміни продуктивності ярого ячменю за сценарієм A1B.

Варіанти дослідження такі ж як і в попередньому сценарії.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* за період 2011 – 2030 рр. площа листя ярого ячменю в період максимального розвитку збільшиться в Кіровоградській області на $0,94 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в порівнянні з базовим періодом (табл. 4.6, рис 4.4). В умовах збільшення CO_2 площа листя ярого ячменю зросте найбільш на 68 %.

В другий період (2031 – 2050 рр.) площа листя ярого ячменю збільшиться на $0,21 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 в другий період площа листя ярого ячменю зросте в порівнянні з базовим на 19 %.

Як видно із табл. 4.6 найбільший приріст площі листя спостерігатиметься в перший період у варіанті зі збільшенням CO_2 , тоді як в другий період спостерігається зменшення.

Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) в Кіровоградській області становитиме $113 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на $39 \text{ м}^2/\text{м}^2$ більше порівняно з базовим періодом відповідно.

В умовах збільшення CO_2 фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в порівнянні з базовим зросте на 66 %.

Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю за сценарієм зміни клімату (2031-2050 рр.) в Кіровоградській області складатиме $91 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на $17 \text{ м}^2/\text{м}^2$ більше порівняно з базовим періодом.

В умовах збільшення CO_2 фотосинтетичний потенціал ярого ячменю зросте в порівнянні з базовим на 32 %.

Приріст маси ярого ячменю в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) збільшиться в області на $75 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$.

Підвищення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* обумовить в перший період збільшення приросту маси ярого ячменю в період максимального розвитку на $99 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$ (табл. 4.6).

Приріст маси ярого ячменю в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату *A1B* в другий період (2031-2050 рр.) зменшиться на $6 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$.

Підвищення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в цей період обумовить збільшення приросту маси ярого ячменю на $8 \text{ г}/\text{м}^2\text{дек}$.

В залежності від збільшення показників фотосинтетичної продуктивності зросте і суха біомаса цілої рослини ярого ячменю.

Таблиця 4.6 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Варіант	Площа листя в період максимального розвитку, м ² /м ²	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м ² дек	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м ² дек	Суша біомаса, г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²	Урожай, ц/га
Степ							
1986-2005	Базовий	1,7	80	122	434	74	25
2011-2030	Клімат	2,64	81	197	676	113	37
	Клімат + CO ₂	2,88	83	221	754	123	41
2031-2050	Клімат	1,91	71	116	450	91	24
	Клімат + CO ₂	2,07	74	130	501	98	27

За сценарієм *A1B* в перший період вона збільшиться на 56 %. При збільшенні CO_2 – на 74 % в порівнянні з базовим періодом.

В другий період за сценарієм *A1B* вона збільшиться всього на 4 %. При збільшенні CO_2 – на 15 % в порівнянні з базовим періодом.

Урожай ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A1B* в перший період (2011-2030 рр.) в Поліссі очікуватиметься до 37 ц/га, що на 12 ц/га вище врожаю базового періоду.

Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 ppm в перший період суттєво підвищить рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів, що спричинить підвищення врожайності зерна. Очікуваний урожай ярого ячменю за сценарієм *A1B* становитиме 41 ц/га, що на 16 ц/га більше порівняно з базовим періодом (табл. 4.6).

В другий розрахунковий період урожай ярого ячменю за сценарієм (2031-2050 рр.) становитиме 24 ц/га, що на 1 ц/га менше ніж в базовий період. Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 ppm в другий період підвищить рівень врожайності. Очікуваний урожай ярого ячменю становитиме 27 ц/га, що на 8 % більше в порівнянні з базовим періодом.

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

В Кіровоградській області максимальна площа листя ярого ячменю базового періоду спостерігається в п'яту декаду і зросла до $1,87 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Максимальна площа листя ярого ячменю за сценарієм зміни клімату (2011-2030 рр.) спостерігатиметься в шостій декаді та зростатиме до $2,64 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За сценарієм зміни клімату (2031 – 2050 рр.) максимальна площа листя ярого ячменю спостерігатиметься в п'ятій – шостій декадах $1,97 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 , в Кіровоградській області площа листя ярого ячменю зростала до шостої

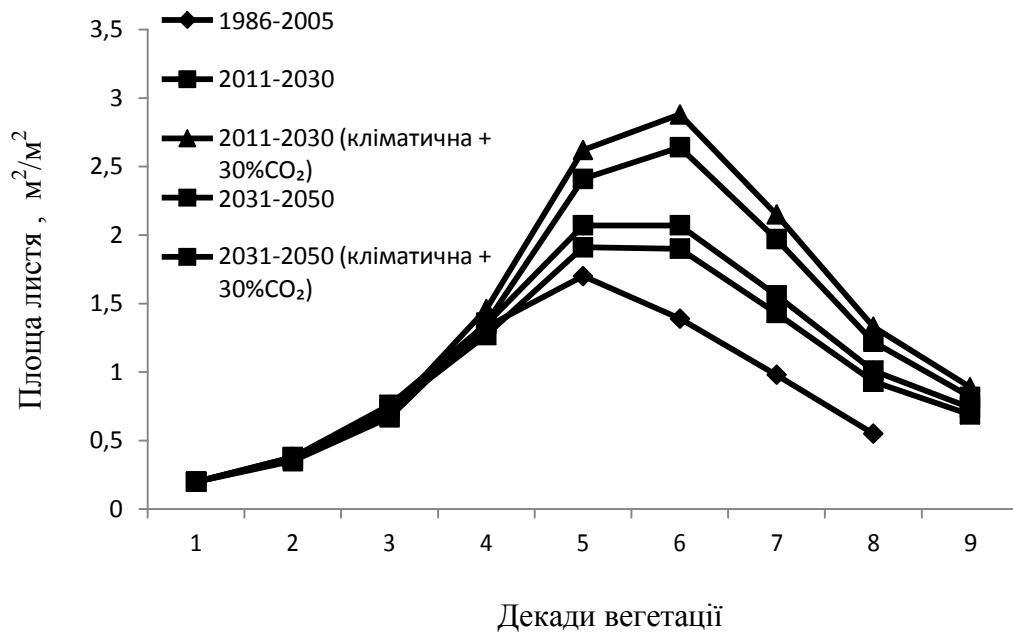


Рисунок 4.4 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Кіровоградській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

декади вегетації і максимальне значення площі листя ярого ячменю за умов збільшення CO₂ складатиме 2,88 м²/м² в період 2011 – 2030 рр. та 2,07 м²/м² в період 2013 – 2050 рр. В умовах збільшення CO₂ площа листя ярого ячменю збільшилась на 1,18 м²/м² в період 2011 – 2030 рр. та 0,37 м²/м² в період 2013 – 2050 рр. в порівнянні з площею листя ярого ячменю за базовий період (рис. 4.4).

В Кіровоградській області за середніми багаторічними даними чиста продуктивність фотосинтезу зростала до четвертої декади, 80 г/м²·дек. Максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу за сценаріями зміни клімату *A1B* в періоди (2011-2030 рр.) і (2031 – 2050 рр.) та в умовах збільшення CO₂ зростатимуть до четвертої декади вегетації і очікуватимуться на рівні 71 – 81 г/м²·дек. (рис. 4.5).

В Кіровоградській області суха маса ярого ячменю в базовий період збільшувалась четвертої до восьмої декади і у восьму декаду вегетації становила 292 г/м² (рис. 4.6).

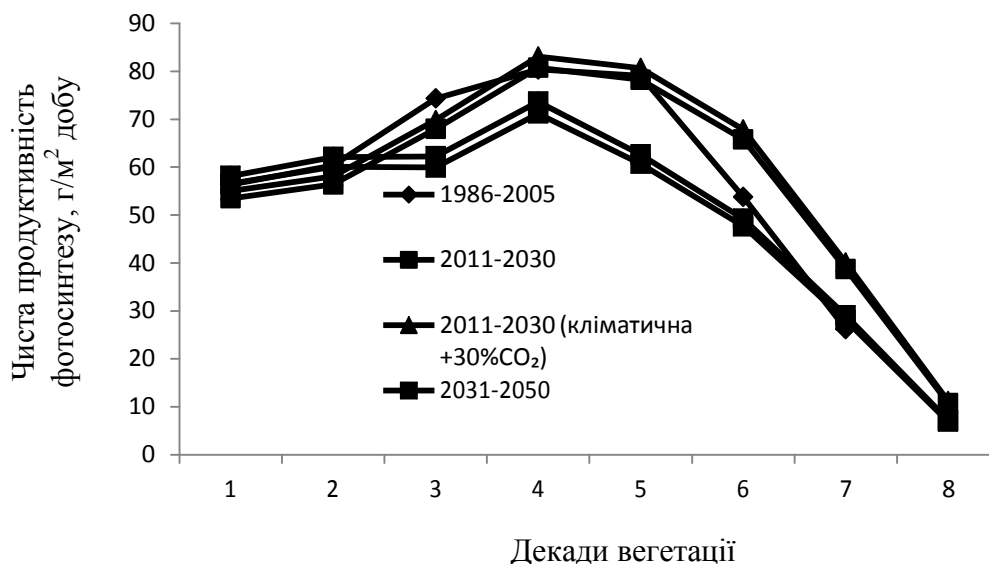


Рисунок 4.5 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Кіровоградській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

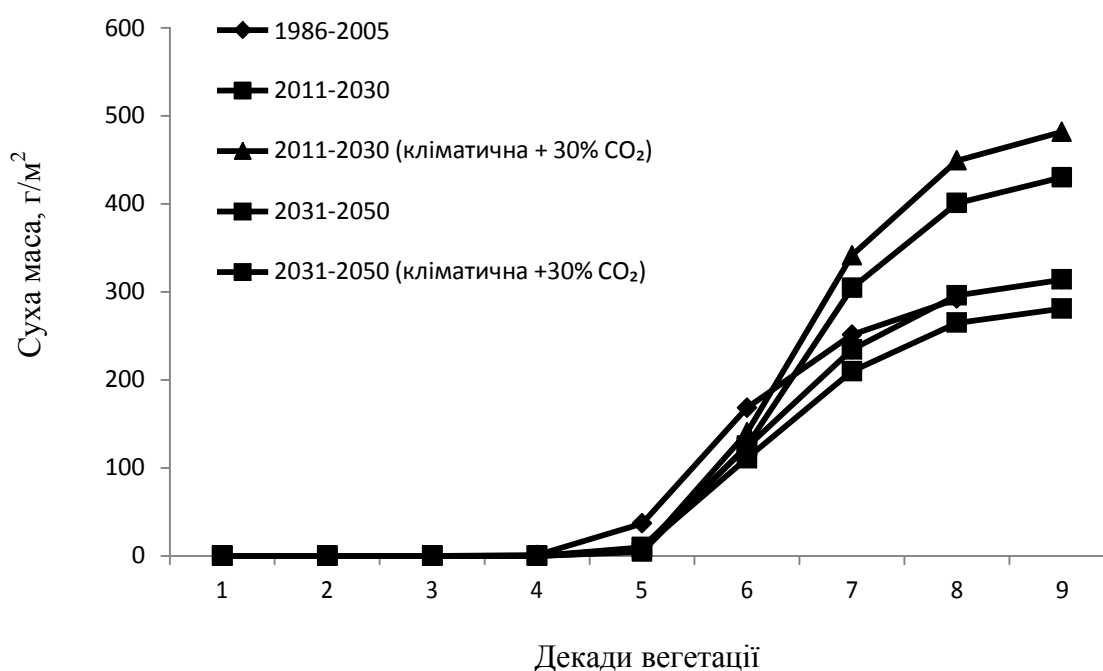


Рисунок 4.6 – Суха маса ярого ячменю в Кіровоградській області за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

За сценарієм зміни клімату (2011-2030 рр.) в Кіровоградській області, суха маса зростатиме з п'ятої декади до дев'ятої декади і в дев'яту декаду вегетації вона буде 430 г/м^2 . В умовах збільшення CO_2 суха маса почне збільшуватись з четвертої декади, тобто на декаду раніше середньої багаторічної, досягне максимальних значень в дев'яту декаду і становитиме 481 г/м^2 . В другий розрахунковий період за кліматичним сценарієм суха маса почне збільшуватись з п'ятої декади, досягне максимуму в дев'яту декаду і буде становити 281 г/м^2 , тобто в цей період накопичення маси буде мати меншу інтенсивність і буде майже наполовину нижче, ніж в перший період. В умовах збільшення CO_2 накопичення маси на дев'яту декаду становитиме 314 г/м^2 . Як видно із рис. 3.6 воно буде нижчим і середніх багаторічних значень.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи були отримані наступні основні результати:

1. Вивчено агрокліматичні ресурси Кіровоградської області. Розглянуто основні показники ресурсів тепла і вологи.
2. Вивчено біологічні особливості ярого ячменю і його вимоги до факторів зовнішнього середовища.
3. Вивчено сучасний стан моделювання продуктивності ярого ячменю.
4. Аналіз тенденції впливу зміни клімату на темпи розвитку ярого ячменю в Кіровоградській області виконано шляхом порівняння показників за базовий період (1986 – 2005 рр.) і розрахованих за кліматичними сценаріями *A1B*, *A2* показників два періоди: 2011 – 2030 рр. – перший період, 2031 – 2050 рр. – другий період.

За умови реалізації сценарію зміни клімату *A2* терміни сівби ярого ячменю змістяться на більш ранні строки. Сівба буде проводитися з 1 – 9 квітня, що на 2 – 9 днів раніше в порівнянні з базовим періодом. За умови реалізації сценарію зміни клімату *A1B* терміни сівби ярого ячменю змістяться на більш ранні строки. Сівба буде проводитися з третьої декади березня по 3, що на 2 – 11 днів раніше в порівнянні з базовим періодом. Дата воскової стиглості за середніми багаторічними даними спостерігалася в кінці першої декади червня. Розрахунки за сценаріями *A2* і *A1B* показують, що в Кіровоградській області дати воскової стиглості будуть спостерігатися в період з 2011 по 2030 рр. – 15.VII та 6.VII відповідно, що на 5 пізніше та 4 днів раніше, в порівнянні з середніми багаторічними даними. За сценарними розрахунками в період до 2050 рр. дата воскової стиглості співпадатиме з середніми багаторічними даними в перший розрахунковий період, а в другий буде наставати на 5 днів раніше.

Тривалість вегетаційного періоду в Кіровоградській області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) становила 96 дні. У зв'язку з

відмінністю дат настання початкових фаз розвитку в Кіровоградській області за сценаріями зміни клімату *A2* та *A1B* в перший розрахунковий період (2011-2030 рр.) тривалість вегетаційного періоду в цій області становитиме 94 - 128 днів. В період з 2031 по 2050 рр. тривалість вегетаційного періоду становитиме біля 99 -102 днів, що на 3 - 6 днів довше в порівнянні з середніми багаторічними даними.

Порівняння динаміки середньої за декаду температури повітря при зміні кліматичних умов за сценаріями *A2* і *A1B* з середніми багаторічними за період сходи – колосіння ярого ячменю показує, що зміщення строків сівби сторону більш ранніх термінів призведе до того, що за весь період вегетації ярого ячменю ріст і розвиток його будуть проходити на фоні знижених температур.

Найсуттєвіші зміни за сценаріями будуть спостерігатись в сумах опадів. Їх зміна сприятиме незначному зростанню вологозабезпеченості посівів.

6. Для розробки сценарію зміни клімату *A2* та *A1B* з 2011 до 2050 рік використовувалась базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур А.М. Польового.

Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю, за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), та за сценаріями зміни клімату за два періоди (2011-2030 рр.), (2031-2050 рр.). За сценарієм *A2* очікувані умови будуть більш сприятливі для формування фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю і, отже, для формування більш високих врожаїв зерна. Виконана оцінка ймовірних врожаїв ярого ячменю, за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), та за сценаріями зміни клімату (2011-2030 рр.), (2031-2050 рр.).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агроклиматический справочник по Кировоградской области. Л.: Гидрометеиздат, 1958.
2. Агроклиматический атлас Украинской ССР /Под ред. С.А. Сапожниковой. Киев: Урожай, 1964. 36 с.
3. <http://www.geograf.com.ua/geoinfocentre/20-human-geography-ukraine-world/279-ref19951106>.
4. http://uk.wikipedia.org/wiki/Глобальне_потепління
5. Бахтеев Ф.Х. Ячмень. М. Л. Сельхозиздат, 1955.
6. Борисоник З.Б. Яровой ячмень. М.: Колос, 1974. С. 255.
7. Зінченко О.І. Рослинництво:Підручник./О.І.Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко. К.: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
8. Коданев И.М., д-р с.-х. наук. Ячмень. М., Издательство «Колос», 1964.
9. BARLEY Growth&Development(http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0003/516180/Procrop-barley-growth-and-development.pdf).
10. Богданова Т.Ф. Зависимость урожая ярового ячменя от влагообеспеченности в Степных районах. Труды ГМЦ, 1968, вып. 14.
11. Барсукова О.А., Гомон А. Оцінка агрокліматичних умов формування ярого ячменю в Кіровоградській області // Матеріали ХХХІІІ Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії», 30-31 грудня 2016 р., м. Переяслав-Хмельницький. с.14-15
12. Барсукова О.А., Гомон А.С., Колун А.О. Особливості просторово-часової мінливості врожаїв ярого ячменю в розрізі регіонів України //Перший всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд з міжнародною участю, м. Одеса, 22-23 березня 2017р. Одеса: ТЕС, 2017. С.51-52.
13. Барсукова О.А., Гомон А.С., Колун А.А. Агроклиматическая оценка условий тепло- и влагообеспеченности озимой пшеницы на ст. Любашовка Одесская область //Матеріали І Всеукраїнської науково-практичної

- конференції «Функціонування АПК на засадах раціонального природокористування» 26 травня 2017 року, м. Полтава. С. 91-92.
14. Барсукова О.А., Недострелова Л.В., Гомон А.С. Оцінка впливу змін клімату на продуктивність ярого ячменю в Кіровоградській області за сценарієм А2: колективна монографія «Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії» / за ред. О.О. Горба, Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб. Полтава: ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2017 р. С. 311-317.
 15. Кулик М. С. Погода и минеральные удобрения. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 138 с.
 16. Дмитренко В. П. О моделях расчета урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических факторов // Метеорология и гидрология. 1971. №5. С. 84 –91.
 17. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур. - Київ: Ніка–Центр.2010. 620 с.
 18. Антоненко В. С., Гойса Н. И. Ростовые функции вегетативного и репродуктивного периодов развития озимой пшеницы. //Труды УкрНИГМИ, 1986. Вып. 208. С. 49–66.
 19. Антоненко В.С. Динамическое моделирование роста, развития и формирования продуктивности озимой пшеницы. К.: «АртЭк», 2002. 63 с.
 20. Stewart D. W., Lemon E. R. The energy budget at the earth's surface: A simulation of net photosynthesis on field corn. – Techn. Rep., ECOM 2-68, 1 – Interim. Rep. 63-3, Dec. 1969, p. 1 – 132.
 21. Абашина Е.В. Метод азотного питания растений в динамических моделях, предназначенных для оценки агрометусловий формирования урожая яровых зерновых культур. // Труды ИЭМ, 1979. Вып. 13 (91). С. 101 – 119.
 22. Абашина Е.В., Просвиркина А.Г., Сиротенко О.Д. Упрощенная динамическая модель формирования урожая ярового ячменя // Труды ИЭМ. – 1977. Вып. 8 (67). С. 54 – 68.

23. Дмитренко В.П. Современное направление исследований и методологические аспекты проблемы урожайности (модели типа погода – урожай) //Труды УкрНИГМИ, 1978. Вып. 164. С. 33 – 48.
24. Ковтун И.И., Гойса Н.И., Митрофанов Б.А. Оптимизация условий возделывания озимой пшеницы по интенсивной технологии. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 288 с.
25. Curry R. B., Chen L. H. Dynamic simulation of vegetative growth in a plant canopy. In: Proc. 1970 Summer Computer Simulation Conf., June 10 – 12, 1970, p. 131 – 145.
26. Splinter W. E. Corn growth model. ASAE Paper, 1973, N 73 – 4535, ASAE St. Joseph, M I 49085.
27. Цубербиллер Е.А. Суховей, их агрометеорологическая сущность и пути борьбы с ними. М.: Колос: 1966. 110 с
28. Свисюк И.В. Погода, интенсивная технология и урожай озимой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 226 с.
29. Полевой А.Н., Кульбида Н.И. Моделирование формирования урожая озимой пшеницы в период весенне-летней вегетации в Украине //Метеорология, климатология и гидрология. Одесса: 2001. Вып. 43. С. 128 – 135.
30. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 152 с.
31. Гольцберг И.А. Агроклиматическое районирование территории административных областей // Труды ГГО. 1969. Вып. 248. С. 4–11.
32. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 247 с.
33. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.
34. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 264 с.

35. Каринг П.Х., Варчева С.Е., Тооминг Х.Г. Влияние местных климатообразующих факторов и плодородия почвы на урожайность ячменя в Эстонской ССР // Труды ВНИИСХМ, 1987. Вып. 19. С. 41 – 51.
36. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 144 с.
37. Жуков В. А., Полевой А. Н., Витченко А. Н., Даниелов С. А. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 207 с.
38. Полевой А. Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 319 с.
39. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Одеса: «ТЕС», 2012. 612 с.
40. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.
41. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України. /За ред. С.М. Степаненко, А.М. Польового. Одеса: Екологія, 2011. 694 с.