

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської і
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

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

Виконав студент 2 курсу групи МАЕ-60
спеціальності 8.04010602 “Прикладна екологія та
збалансоване природокористування”,
спеціалізації “Агроекологія”

Трачук Олександр Степанович

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

Рецензент к.геогр.н., доцент

Романчук Марина Євгенівна

Одеса 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської і аспірантської підготовки
Кафедра агromетeорології та агromетeорологічних прогнозів
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 8.04010602 “Прикладна екологія та збалансоване
природокористування”, спеціалізація “Агроекологія”
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Агromетeорології
та агromетeорологічних прогнозів
Польовий А.М.
“31” жовтня 2016 року

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

Трачуку Олександр Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю в Вінницькій області
керівник роботи Барсукова Олена Анптоліївна, к.геогр.н. доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “14” вересня 2016 року № 270-С
2. Строк подання студентом роботи 1.02.2017 року
3. Вихідні дані до роботи Матеріали середньобагаторічних метеорологічних, агromетeорологічних та фенологічних спостережень за яровим ячменем мережі агromетстанцій Вінницької області. Метеорологічні дані за сценаріями А2 та А1В моделі зміни клімату MPI-M-REMO.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити вивчити фізико-географічні та агрокліматичні особливості Вінницької області; вивчити біологічні особливості ярого ячменю; ознайомитися з методикою динамічної моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур; оцінити агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю в Вінницькій 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

7. Дата видачі завдання 31 жовтня 2016 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.	31.10.2016-20.11.2016 р.	80	добре
2	Вивчення алгоритму динамічної моделі продуктивності сільськогосподарських культур, проведення розрахунків	21.11.2016 р.-4.12.2016 р.	80	добре
3	Атестація	5.12.-10.12.2016pp	80	добре
4	Виконання розрахунків, побудова графіків, таблиць	11.12.2016 р.-21.12.2016 р.	97	відмінно
5	Аналіз отриманих результатів, написання основного тексту роботи	22.12.2016 р.-31.12.2016 р.	97	відмінно
6	Виправлення зауважень, підготовка рукопису дипломного проекту, написання доповіді та підготовка презентації	16.01.2017-31.01.2017pp	96	відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90	відмінно

Студент

(підпис)

Трачук О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Барсукава О.А.

(прізвище та ініціали)

АННОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність ярого ячменю в Вінницькій області», автор роботи магістр групи МАЕ-60 Трачук Олександр Степанович.

Метою магістерської роботи є оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтетичну продуктивність ярого ячменю в Вінницькій 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 продуктивного 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 продукційного процесу рослин.

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

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

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

Новизна: вперше для умов Вінницької 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 Вінницької області з метою можливого збільшення посівних площ.

Структура і обсяг роботи: 96 сторінок, 9 рисунків, 8 таблиці, 38 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 Vinnitsa region”, performed by master Trachuk Alexander Stepanovich, 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 Vinnitsa 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 Vinnitsa 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 Vinnitsa region for a possible increase in acreage.

The structure and volume of work: 96 pages, 9 figures, 8 tables, 38 literature sources

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

ЗМІСТ	Стр.
ВСТУП	7
1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Фізико-географічний опис прилеглої території.....	10
1.2. Агрокліматична характеристика Вінницької області.....	13
2. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ.....	15
2.1 Вимоги ярого ячменю до світла.....	19
2.2 Вимоги ярого ячменю до тепла	19
2.3 Вимоги ярого ячменю до вологи.....	20
2.4 Вимоги ярого ячменю до ґрунтів	22
2.5 Вимоги ярого ячменю до удобрення.....	23
2.6 Основні хвороби і шкідники ярого ячменю.....	24
2.7 Характеристика сортів ярого ячменю	30
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ	36
3.1 Сучасний стан моделювання формування врожаю ярого ячменю	36
3.2 Моделювання впливу змін клімату на продуктивність ярого ячменю.....	46
3.3 Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву.....	49
3.4 Моделювання водного режиму рослинного покриву.....	51
3.5 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин.....	55
3.6 Моделювання росту рослин.....	57
4 СЦЕНАРІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МАЙБУТНЬОГО КЛІМАТУ.....	60
4.1 Сценарії можливих змін клімату.....	61

5	ОЦІНКА ЗМІНИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В ЗВ'ЯЗКУ ЗІ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ	67
5.1	Агрокліматична оцінка умов вегетаційного періоду ярого ячменю в Вінницькій області	67
5.2	Оцінка за допомогою моделі продукційного процесу рослин фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю в зв'язку зі зміни клімату.....	77
5.2.1	Очікувані зміни продуктивності ярого ячменю за сценарієм A2.	77
5.2.2	Очікувані зміни продуктивності ярого ячменю за сценарієм A1B.....	82
	ВИСНОВКИ	90
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	93

ВСТУП

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

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

Вивчення проблем зміни клімату та оцінки окремих його характеристик, в т. ч. температури та зволоження, в Україні виконуються під егідою та керівництвом Міністерства охорони навколишнього середовища.

Цьому питанню присвячено багаточисельні наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту (УкрНДГМІ) [1 – 5]. В цих працях значна увага приділяється всім галузям народного господарства, але недостатньо вивчалось питання щодо впливу змін клімату на екологічний стан агроландшафтів, систем землекористування та продуктивність агроєкосистем, в т.ч. урожайність та валові збори зернових культур. Важливим в цьому відношенні є з одного боку виникнення, в результаті змін клімату, нових ризиків, наприклад розповсюдження посух, а з другого –

вирішення проблеми ефективного використання додаткового агресурсного потенціалу, наприклад у вигляді тепла.

Ячмінь – одна з найдавніших сільськогосподарських культур. Він обробляється з часу зародження землеробства. Зерно ячменю – відмінний корм. Його широко використовують при відгодівлі свиней, в раціонах великої рогатої худоби і птиці. Це незамінна сировина пивоварної промисловості, з нього готують також різні види круп.

В даний час ячмінь є основною кормовою культурою. У його зерні міститься 11,8% протеїну, 2,3% жиру, 2,8% золи і 65 – 72% безазотистих екстрактивних речовин.

На фураж використовуються більш високобілкові сорти ячменю. В умовах Білорусі зерно з вмістом білка до 15 – 17% дають посіви на торф'яно-болотних ґрунтах. Завдяки своїм високим кормовим якостям зерно ячменю і продукти його переробки набагато корисніші інших концентрованих кормів. Так, в 1 кг корми із зерна ячменю міститься 100 – 120 г перетравного білка.

Ячмінь також має велике значення і як цінна продовольча культура. З його зерна проводяться широко відомі перлова і ячна крупи, які за своїми харчовим достоїнствах не поступаються рисової та гречаної. У ячної крупі міститься навіть більше цукру і білка.

Витяжки з ячмінного солоду багаті вуглеводами, білками, ферментами, вітамінами і тому володіють великими дієтичними і лікувальними властивостями. Вони знаходять широке застосування в медицині, хлібопекарської промисловості і т. д.

Зерно ячменю – сировина для пивоварної промисловості. Для отримання високоякісного пива солод готують виключно з ячменю, який надає пиву специфічний приємний смак і аромат. Для виробництва пива велике значення має високий вміст в зерні ячменю крохмалю і безазотистих екстрактивних речовин, вміст яких у кращих пивоварних сортів досягає 70 – 82 %. Вміст білка в зерні цих сортів 9 – 12 %.

Метою моєї магістерської роботи є визначення впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтезу продуктивності ярого ячменю в Вінницькій 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 Вінницької області та дані за сценарієм MPI-M-REMO зміни клімату.

1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АГРОКЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Фізико-географічний опис прилеглої території.

Вінницька область розташована в Лісостеповій зоні України. Територія області становить 26,5 тис. км², а чисельність населення 2046 тис.людей. В адміністративному відношенні Вінницька область розділена на 26 районів.

Більша частина території області знаходиться на Волино - Подільській підвищеності. Менша – західна частина території знаходиться в межах Дністерської низини. Через Північно-східні райони проходить Придністровська підвищеність. У вінницькій області переважає хвилюво-пагорбовий рельєф, який має водно-ерозійний характер. Гідрографічна сітка, її глибина, протяжність, розгалуження свідчать про декількох циклах тоспетричної ерозії.

На території області протікає велика кількість річок. Найбільша з них Дністер, який розділяє північно-західну частину області з Молдовою. Південний Буг протікає через всю область із північного заходу на південний схід. За своїм водним режимом річки Вінницької області відносяться до рівнинних снігового живлення.

За типами ґрунтів Вінницька область поділяється на 4 райони: 1 – північно-східний, в якому переважають чорноземи; 2 – західно-центральный, в якому переважають сірі та світло-сірі опідзолені ґрунти; 3 – південно-східний, в якому переважають типові чорноземи; 4 – Придністровський, в якому переважають поряд зі значними площами типових чорноземів опідзолені ґрунти та темно-сірі лісові ґрунти.

10 % території Вінницької області вкриті лісом. Найбільші лісові масиви знаходяться в центральній та південно-східній частинах області.

За структурою земельних угідь Вінницька область відноситься до розряду землеробських. Спеціалізація сільського господарства – буряково-

зернова із м'ясомолочним тваринництвом. В південних районах області розвинене виноградарство.

КЛІМАТ. Клімат області помірно-континентальний з м'якою зимою, помірно – теплим літом, переважно з достатньою кількістю опадів впродовж вегетаційного періоду.

Значний вплив на формування клімату в області мають відроги Азорського та Сибірського антициклонів та південні сектори Атлантичних циклонів та північні окраїни Південних циклонів.

Середня річна температура повітря коливається в межах 6,5 8,7 °С. Найхолодніший місяць зими - січень. Його середня температура повітря становить – 4, 0 – 6 °С. Абсолютний мінімум температури повітря складає – 31.....- 39 °С.

Зима часто характеризується нестійким сніговим покривом, частими відлигами. Початок весняних процесів настає в середині березня місяця. Тривалість весни становить біля 2 місяців. Перехід середньодобової температури через 5°С настає в першій декаді квітня, що співпадає з початком польових робіт та відновленням вегетації озимих культур. Заморозки припиняються наприкінці квітня.

Літо починається з другої половини травня і продовжується до середини вересня. Середня температура самого теплого місяця – липня - становить 18 21°С. Абсолютний максимум становить 37 ...39 °С.

Початок осені відзначається в першій декаді жовтня, що співпадає із середньою датою настання заморозків.

Осінь досить тривала і в окремі роки триває до кінця грудня. Стійкий сніговий покрив утворюється переважно в середині грудня.

Річна кількість опадів становить 550... 650 мм. Більша їх частина (біля 70-80 %) випадає в теплу пору року.

Область за агрокліматичними показниками розділена на два агрокліматичні райони: 1 – помірно теплий, вологий займає північну та

частково центральну частину області. 2 – теплий, недостатньо вологий займає південну та південно – східну частину території області (рис. 1.1) [1].



Рисунок 1.1 – Агрокліматичне районування Вінницької області

1.2 Агрокліматична характеристика Вінницької області

Клімат області помірно-континентальний з м'якою зимою, помірно-теплим літом, найчастіше з достатньою кількістю опадів, за вегетаційний період.

Значний вплив на формування клімату області мають відроги Азорського і Сибірського антициклонів, південні сектори Атлантичних циклонів і північні окраїни південних циклонів.

Середня річна температура повітря знаходиться в межах $+6,5 \dots +8,7^{\circ}\text{C}$. найхолодніший місяць - січень. Середня його температура $-4 \dots -6^{\circ}\text{C}$. Абсолютний мінімум температури повітря становить $-31 \dots -39^{\circ}\text{C}$. Зима часто характеризується нестійким сніговим покривом, частими відлигами. Річний хід температури повітря представлений на рис. 1.2.

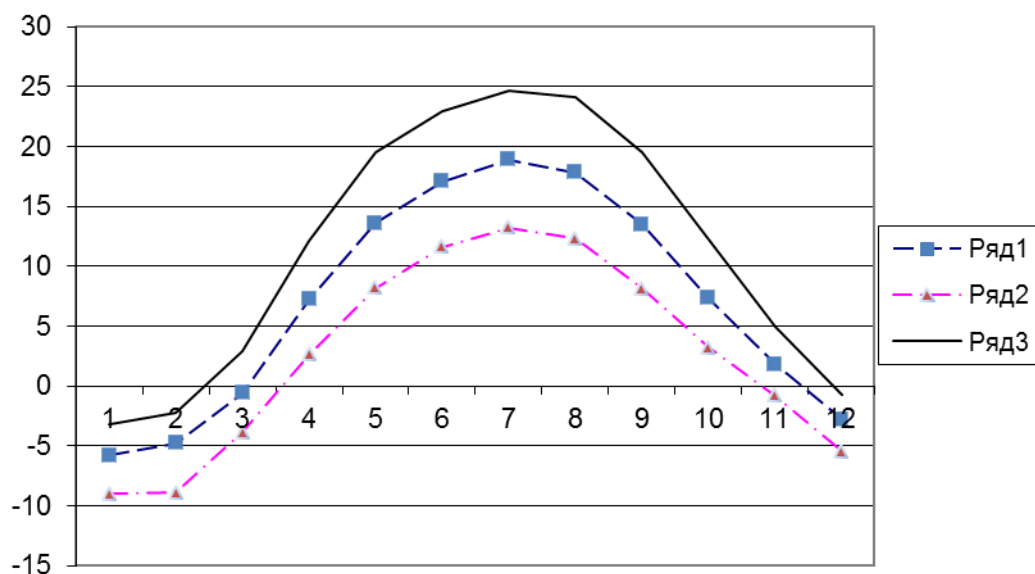


Рисунок 1.2 – Річний хід середньомісячної (ряд 1), середньої мінімальної (ряд 2) і середньої максимальної (ряд 3) температури повітря на ст. Вінниця.

Початок весняних процесів зазвичай настає в середині березня, і весна триває близько двох місяців. Перехід середньої добової температури повітря

через $+5^{\circ}\text{C}$ настає в першій декаді квітня, що збігається з початком польових робіт і відновленням вегетації. Заморозки зазвичай припиняються в кінці квітня.

Початок осені відрізняється в першій декаді жовтня, що збігається із середньою датою настання заморозків. Осінь досить тривала.

2 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЯ

Ярий ячмінь вирощують в Україні як продовольчу, кормову та технічну культуру. Проте за обсягом використання його продукції в народному господарстві він є, насамперед, однією з цінних зернофуражних культур, частка якої в балансі концентрованих кормів є значною.

Зерно ячменю, в якому міститься у середньому 12,2 % білків, 77,2 % вуглеводів, 2,4 % жиру, до 3 % зольних елементів, є високопоживним кормом (в 1 кг міститься 1,2 корм. од. і 100 г перетравного протеїну) для всіх видів тварин, особливо для відгодівлі свиней на високоякісний бекон. Важливо, що білок є повноцінним за амінокислотним складом, а за вмістом таких амінокислот, як лізин і триптофан, він переважає білок зерна усіх інших злакових культур. Тому при збільшенні в кормовому раціоні ячмінної дерті або висівок худоба швидко набирає масу і стає більш стійкою проти несприятливих умов утримання.

Цінується у тваринництві як грубий корм солома ячменю, особливо сортів з гладенькими остюками (1 ц якої прирівнюється до 36 корм. од.), і запарена полова. Вирощують ячмінь на зелений корм і сіно у сумішах з ярою викою, горохом, чиною, високоякісний урожай яких часто досягає 250 – 300 ц/га.

Ячмінь є важливою продовольчою культурою. Із зерна скловидного крупнозерного дворядного ячменю виробляють перлову та ячмінну крупу, у складі якої міститься 9 — 11 % білка, 82 — 85 % крохмалю. У крайніх північних і гірських районах СНД із зерна ячменю виробляють борошно, яке використовують як домішку до пшеничного або житнього борошна при випіканні хліба. Через низьку якість клейковини хліб з чистого ячмінного борошна виходить мало-об'ємним, слабкопористим, швидко черствіє.

Зерно ячменю також використовують для виробництва пива.

Серед зернових ячмінь найбільше ранньостигла культура. Довжина його вегетаційного періоду залежить від місця зростання та біологічних

особливостей сорту. За цією ознакою сорти ячменю діляться на скоростиглі, середньостиглі, середньопізні та пізні. Сорти ячменю, вирощувані в Білорусі, відносяться до скоростиглих, середньостиглих, середньопізніх з довжиною вегетаційного періоду 75 – 92 днів.

Погодні умови впливають на дозрівання ячменю. За теплої погоди навесні і влітку і при нестачі опадів воно настає раніше, а при підвищеній вологості ґрунту і повітря і помірних температурах - пізніше. На торф'яно-болотних ґрунтах довжина вегетаційного періоду ячменю довше, ніж на дерново-підзолистих.

Сходи. Швидкі і дружні сходи – необхідна умова отримання високих врожаїв. Період від посіву до сходів у ячменю триває 5 – 7 днів. Одним з факторів, що визначають швидке і дружнє поява сходів, є вологість ґрунту. Встановлено, що для проростання насіння ячменю потрібно волога, складова 48 – 76 % від ваги сухого насіння. Великий вплив на час появи сходів робить і температура ґрунту. На час посіву ґрунт повинен прогрітися не менше ніж на 5 – 7 °С. Різке похолодання після сівби затримує появу сходів.

Шкідливо відбивається на появі сходів ячменю глибока закладення насіння і особливо виникає після дощу ґрунтова кірка, що ускладнюють доступ повітря до насіння.

Першим при проростанні зерен з'являється головний корінь, слідом за ним і інші первинні корінці. Всього їх у ячменю 4 – 8.

У момент проростання в зерні відбуваються великі біохімічні та фізіологічні зміни.

Слідом за корінцями рушає в ріст і конус наростання. Перший лист покритий зверху тонкою безбарвною плівкою - ковпачком (зі-леопіле), яка оберігає лист від пошкоджень при проходженні його крізь ґрунт.

При виході на поверхню ковпачок призупиняє своє зростання, а лист продовжує рости, розриває його і розгортається. З цього моменту в рослині починається процес фотосинтезу.

Після утворення трьох листків рослина ячменю переходить у фазу кушіння.

Кушіння. Під кушінням розуміють фазу утворення стебел з вузла кушіння. За кількістю стебел, що припадають на одну рослину, судять про енергію кущення або кущистості.

У зв'язку з тим, що не всі стебла утворюють колос, розрізняють кущистість загальну і продуктивну. Загальна кущистість виражається кількістю всіх стебел, що припадають на одну рослину, а продуктивна - числом тільки колосonoсних стебел. Від сходів до кушіння проходить близько двох-трьох тижнів.

Кількість стебел в однієї рослини коливається у великих межах (від 2 – 3 на дерново-підзолистих ґрунтах до 15-20 на торф'яно-болотних).

Великий вплив на кущистість ячменю надає родючість ґрунту. На малородючих ґрунтах ячмінь майже не кущиться. Однією з практичних заходів щодо підвищення його кущистості є внесення мінеральних добрив. Кущистість цієї культури залежить також і від посівних якостей насіння: абсолютного ваги, схожості. Чим крупніше зерно, тим більше продуктивних стебел воно може дати при добрій агротехніці.

Великий вплив на кущистість ячменю надають ранній строк сівби і високоякісна передпосівна обробка ґрунту.

Різні сорти характеризуються неоднаковою кущистістю, наприклад, сорту багаторядного ячменю кущатся менше дворядних.

Важливо відзначити, що занадто висока кущистість призводить до вилягання посівів. Наприклад, на торф'яно-болотних ґрунтах і на високому агротехнічному фоні ячмінь здатний кущитися в сильному ступені, тому на таких полях його сіяти необхідно з меншою нормою висіву.

Вихід в трубку у ячменю починається приблизно через 3 – 4 тижні після появи сходів. Зовнішнім ознакою настання цієї фази є поява у підстави головного стебла невеликого горбка - першого стеблового вузла, який можна промацати.

Доведено, що в період від кушення до виходу в трубку ячмінь найбільше інтенсивно використовує легкодоступні елементи мінерального живлення. Тому під ячмінь ґрунт рекомендується заправляти мінеральними добривами весною при передпосівній обробці ґрунту. Внесення добрив у вигляді підгодівлі не надає позитивного впливу на врожайність цієї культури. За кордоном застосовується внесення частини мінеральних добрив, особливо азотних, у фазі виходу в трубку і колосіння з метою підвищення вмісту білка в зерні ячменю, тобто поліпшення його кормових якостей.

Колосіння ячменю наголошується в момент появи остюків з гирла останніх листя. Настає приблизно на 50-54-й день після сходів. До цього моменту ячмінь має вже добре сформований колос. Тепла і суха погода прискорює колосіння, прохолодна і дощова затягує. Причому у другому випадку колос формується з великим числом зерен, величина і вага їх також зростають. У результаті врожай ячменю збільшується.

Цвітіння і запліднення у ячменю відбувається в період його колосіння, коли колос ще знаходиться в гирлі останнього листа. Цим у ячменю обумовлено самозапилення.

До моменту виходу колоса назовні в квітках вже є зав'язь. В окремі посушливі роки ячмінь повністю не виколошується, колос так і залишається наполовину в гирлі аркуша.

Високі температури повітря і низька відносна вологість у цей період можуть негативно позначитися на розвитку зернівки, в результаті зерно виходить щуплим і неповномістким.

Дозрівання. При дозріванні ячменю зерно проходить три фази стиглості: молочну, воскову і повну. Молочна стиглість настає приблизно на 15 – 17-й день після колосіння. У цій фазі рослини зберігають зелене забарвлення (жовтіють і відмирають лише самі нижні листя). Під час молочної стиглості відбувається інтенсивне накопичення в ендоспермі мінеральних і органічних речовин. До кінця молочної стиглості зерно досягає максимальної величини,

його вологість дорівнює 40 – 60 %. Надалі воно поступово висихає і зменшується в об'ємі.

У фазі воскової стиглості рослини жовтіють, зерно набуває природну для сорту забарвлення. Вологість його знижується до 20 – 25%. У цей період можна приступати до роздільного збирання ячменю. При переході до повної стиглості зерно стає твердим, його вологість знижується в суху погоду до 14 – 16 %. Вегетативні органи рослини засихають і відмирають. У цей період ячмінь найбільше часто прибирають вже прямим комбайнуванням.

2.1 Вимоги ярого ячменю до світла

За характером розвитку ярий ячмінь належить до рослин довгого світлового дня. Серед інших зернових ярих культур він є найбільш скоростиглою культурою, деякі сорти його дозрівають за 75 днів. Завдяки короткому вегетаційному періоду його успішно вирощують у північних районах СНД (у Заполяр'ї він практично є основною продовольчою культурою). На півдні, південному заході, де світловий день коротший, вегетаційний період ячменю триває 105 — 115 днів.

2.2 Вимоги ярого ячменю до тепла

Насіння його починає проростати при температурі 1 – 2 °С, а сходи й молоді рослини легко витримують заморозки до 3 – 4 °С, а інколи до мінус 7 – 9 °С. При такому зниженні температури листя може загинути, але вузол кущення зберігається і після підвищення температури рослини відростають і продовжують вегетацію. У період вегетації сприятливою для росту й розвитку рослин є температура 18 °С. Разом з тим ячмінь характеризується значною стійкістю проти високих температур, легко витримуючи підвищення їх до 38 – 40 °С. За такої температури продиhi в листках та

інших органах ячменю паралізуються лише через добу – півтори (25 – 35 год), тоді як у ярої пшениці – вже через 10 – 17 год настає їх параліч, а у вівса – навіть через 5 год. Тому посіви ярого ячменю і поширені далеко на південь.

Серед хлібів першої групи ячмінь є найбільш посухостійким. Його транспіраційний коефіцієнт становить близько 403 з коливанням від 300 до 450, що також має велике значення для поширення його на півдні.

Для проростання насіння ячменю потрібно 45 – 50 % води від його сухої маси, що значно менше, ніж для насіння пшениці й вівса. Проте слід враховувати, що в ячменю на початку вегетації недостатньо розвивається коренева система і рослини погано витримують весняну посуху, тому не можна затримуватись із сівбою, бо це може зумовити недружне проростання зерна і зріджені сходи. У зв'язку з цим ячмінь треба сіяти в перші дні весняних польових робіт у достатньо вологий ґрунт. Дуже чутливий ячмінь до надмірної вологості ґрунту і різко знижує свою врожайність на заболочених ґрунтах, недостатньо пухких, з близьким заляганням ґрунтових вод [36].

2.3 Вимоги ярого ячменю до вологи

Ячмінь менш вимогливий до води і більш економно витрачає її, ніж пшениця, жито та овес. Транспіраційний коефіцієнт (витрата води на освіту одиниці сухої речовини) ячменю становить 350 – 450. У посушливих умовах культура дає більш високі врожаї. Однак з-за слабого розвитку корової системи ячмінь гірше інших культур переносить весняну посуху. Багато вологи витрачає ячмінь в перші фази росту: кущіння і, особливо виходу в трубку – колосіння.

Недолік води в період утворення репродуктивних органів згубно діє на пилок ячменю. Стерильність частини пилку обумовлює збільшення кількості безплідних колосків, тим самим знижуючи продуктивність рослин.

Встановлено, що якщо в ґрунті запас води нижче подвійний гідроскопічної вологості, то зростання і формування органів рослин припиняються повністю. На добре окультурених і високородючих ґрунтах витрата води на освіту одиниці сухої речовини менше, ніж на ґрунтах малородючих.

Більш економічно ячмінь витрачає воду при внесенні добрив.

Для отримання високого врожаю ячменю необхідно покращувати водний режим ґрунту, застосовуючи відповідні агротехнічні прийоми, дбати про накопичення води і правильному її витрачання. У зв'язку з цим в районах недостатнього зволоження велике значення мають своєчасна і якісна обробка ґрунту, снігозатримання, ранньовесняне боронування, оптимальні строки посіву.

Ярий ячмінь серед хлібів першої групи найбільш посухостійкий і відзначається високопродуктивною витратою води на створення одиниці органічної речовини. Ячмінь доволі економічно витрачає воду, але через слабо розвинені корені весінню посуху ячмінь переносить погано. Він потребує зволоженого ґрунту протягом всього періоду вегетації. Запізнення з сівбою може спричинити недружну появу сходів і сповільнення розвитку рослин на наступних фазах розвитку. Отже, сівбу проводять у ранні строки, як тільки дозволяє стан ґрунту. Критерієм початку сівби є стиглість ґрунту: коли досягається якісна його крихкість при обробці. Ярий ячмінь необхідно висіяти впродовж 5 – 7 днів від настання фізичної стиглості ґрунту, або від першої можливості застосування ґрунтообробної техніки.

Рання сівба дає можливість ефективно використати зимові запаси води в ґрунті, подовжити вегетаційний період. Надзвичайно важливо те, що рання сівба затримує перехід у генеративну фазу розвитку, що позитивно впливає на густоту продуктивних стебел і урожайність у рослин довгого світлового

дня. При запізненні з сівбою рослини формують недостатньо розвинену кореневу систему, неефективно використовують вологу, формування репродуктивних органів припадає на несприятливі погодні умови [4, 25].

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

2.4 Вимоги ярого ячменю до ґрунтів

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

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

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

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

2.5 Вимоги ярого ячменю до удобрення

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

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

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

Внесення калію сприяє формуванню більш виповненого зерна, збільшує стійкість рослин до ураження хворобами, підвищує стійкість соломини до вилягання, ячмінь краще витримує посуху. Норма внесення калію коливається від 60 до 120 кг/га. У роки з тривалою посухою, особливо в першій половині вегетації, підживлення ячменю азотом не призводить до збільшення врожаю зерна, а азот, що внесений восени, не вимивається на важких зв'язних ґрунтах і ефективно використовується рослинами у весняно-літній період вегетації.

2.6 Основні хвороби і шкідники ярого ячменю

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

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

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

Борошниста роса (*Erisiphe graminis* Dc. f. *hordei* Em. Marchal) - білий наліт на різних частинах рослин. Розвивається і поширюється протягом усього вегетаційного періоду, але найбільш інтенсивно у фазі кушіння - виходу в трубку. Завдає великої шкоди озимому і ярому ячменю при ранньому ураженні, коли інфекція може поширитися навіть на верхні листки. Оптимальні умови для розвитку хвороби - температура 12-20°C і відносна вологість повітря 70-100%. Більшість фунгіцидів захищають рослини від ураження, особливо при використанні їх з профілактичною метою на початку поширення борошнистої роси.

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

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

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

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

Сітчаста плямистість (*Drechslera teres* Ito, *Helminthosporium teres* Sacc.) (*сітчастий гельмінтоспоріоз*). У рослин жовтіють кінчики листків, потім з'являються бурі плями з блідо-жовтою облямівкою, а також з позовжніми і поперечними смугами, які утворюють сітчастий малюнок. Плями не зливаються.

У зв'язку з тим, що значна кількість інфекції гельмінтоспоріозів зберігається на стерні, необхідно дотримуватись чергування культур у

сівозміні. Посіви ячменю (особливо насіннєві) необхідно розміщувати на відстані не менше 1 км від полів, де ця культура росла минулого року.

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

Кореневі гнилі – комплексне захворювання, що спричинюється, як і на пшениці, групою грибних патогенів (гельмінтоспоріоз, фузаріоз, офіобольоз, церкоспорельоз). Характерні ознаки хвороби – побуріння та гниль коріння, підземного міжвузля, вузла кущіння, основи стебла, плямистість листків, білостебелля і біло-колосся, почорніння зародка насіння.

Джерело інфекції фузаріозно-гельмінтоспоріозної кореневої гнилі - заражене насіння, рослинні рештки, ґрунт. Офіобольоз і церкоспорельоз зберігається на рослинних рештках.

Ринхоспоріоз, облямована плямистість (*Rhynchosporium graminicola* Heinsen) дуже широко поширився в Західній Україні в останні роки. Захворювання посилюється за холодної, вологої погоди. Проявляється на листках у вигляді водянистих плям, які підсихають у білувато-сірі плями, оточені жовтою або темно-сірою облямівкою. Починається хвороба з верхівки листка і поширюється на весь листок. Сильно уражені листки скручуються і засихають.

Інфекція зберігається на рослинних рештках. Може знижувати врожайність до 30%. Захищають від цієї хвороби альто-супер, імпакт, корбель, спортак та ін.

Септоріоз (*Septoria hordei* Jacz) дуже поширений у вологі роки. Хвороба проявляється на листках та колосі у вигляді хаотично розміщених коричнево-фіолетових плям. На плямах добре видно дрібні чорні цятки - пікніди гриба. Джерело інфекції-рослинні рештки. Тому беззмінне вирощування зернових в останні роки дуже сприяло поширенню цієї хвороби. Проблема ще й у відсутності ефективних фунгіцидів (за винятком імпакт, бампер) для запобігання септоріозу шляхом обприскування вегетуючих рослин. Тому захищати від цієї хвороби потрібно протруюванням насіння такими препаратами як байтан-універсал, вінцит, раксил та інші.

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

Шкідники зернових колосових культур

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

Шведська муха; ячмінна — *O. Pussila* Mg. Мають такі риси: зимують в стадії личинки або пупарія всередині пагонів озимих та диких злаків, заляльковуються навесні. Час льоту мух збігається із закінченням фази весняного кущення озимих — появою сходів ярих колосових. Після додаткового живлення на квітках самки відкладають яйця за або на

колеоптиле, за піхви листків ярих колосових і кукурудзи. Через 5-10 днів виходять личинки. Виліт мух другої генерації збігається із фазою виголошування — цвітіння колосових.

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

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

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

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

Черемхова попелиця — *Rhopalosiphon padi* L. Цикл розвитку попелиці дводомний. Зимують яйця в основі бруньки на верхівці пагінців черемхи. іноді — на глоді, яблуні, груші та інших деревах, але в цьому випадку засновниці, що відроджуються весною, гинуть. На черемсі ж відбувається розвиток кількох весняних генерацій комахи. Навесні крилаті попелиці перелітають на злакові культури, особливо пшеницю та кукурудзу, де утворюють густі колонії по всій рослині. Восени самки-носії статевій генерації знову мігрують на черемху, де відбувається статевий цикл розвитку, і відкладають яйця, що зимують.

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

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

П'явиця: червоногруда (звичайна) — *Oulema melanopus* L. Зимують жуки у ґрунті на глибині 3-5 см на полях, де вирощували зернові, та в лісосмугах. Навесні при температурі повітря понад плюс 9-10 °C (початок фази виходу озимих в трубку) комахи розлітаються переважно на крайові смуги ярих культур. Яйця відкладають ланцюгом на нижньому боці листків, через два тижні відроджуються личинки, які згодом вкриваються слизом. Розвиток личинок на озимій пшениці збігається з фазами прапорцевого

листка і формування зерна, а на ячмені — від виходу рослин в трубку до початку воскової стиглості зерна. Шкідники заляльковуються у ґрунті, а через два тижні відроджуються молоді жуки. Ці комахи мають одну генерацію.

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

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

2.7 Характеристика сортів ярого ячменю

Виробниче середовище в сільському господарстві є динамічним, оскільки на нього впливає родючість ґрунту, меліорація, хімізація, спеціалізація, нарешті інтенсифікація всіх процесів. Воно визначає особливий характер еволюції культурних рослин через селекцію. Селекція рослин є наукою, мистецтвом і важливою галуззю сільськогосподарського виробництва.

Теорія і практика селекції та насінництва ґрунтується на концепціях сучасних наук генетики, фізіології, біохімії рослин та інших суміжних наук. Специфічною функцією селекції є створення нових сільськогосподарських

культур для збільшення виробництва та поліпшення якості продукції. Для створення нових сортів потрібна величезна кількість інтелектуальної праці та матеріальних витрат.

Реалізація потенційної продуктивності сортів залежить від багатьох факторів: абіотичні, біотичних і антропогенних. Тому, нині особливої актуальності набуває адаптивна селекція — створення сортів та гібридів з високим адаптивним потенціалом, орієнтованих на конкретні екологічні умови.

Селекція нерозривно зв'язана з насінництвом. Насінництво важлива ланка в організаційній структурі виробництва. Головним завданням насінництва є реалізація досягнень селекції при збереженні у процесі розмноження сортів та гібридів усіх морфологічних ознак і біологічних властивостей насіння.

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

Ячмінь Вакула

Цикл розвитку: ярий. Заявник СГІ. Різновидність - паллідум. Куш прямостоячий, листки не опушені, проміжні, зелені. Колос шестирядний, середньої довжини (7 - 9 см), середньої щільності (на 4 см колосового стрижня 10 - 11 члеників), неламкий, слабо пониклий, прямокутної форми з переходом у ромбічну, солом'яно-жовтий. Остюки довгі – 14 - 18 см, злегка розлогі, тонкі, еластичні, слабо зазубрені, у верхній частині жовті, при обмолоті легко відділяються. Колоскова луска тоненька, ніжна, з рідкими волосками. Квіткова луска середньо зморшкувата, нервація добре виявлена, без зубчиків, перехід в остюк поступовий. Основна щетинка зерна коротка, довго волосяна. Висота рослин 65 - 75 см. Зернівка видовжено-овальна,

розмір 13x14 мм, жовта, вирівняна. Маса 1000 насінин 44 г. Середньостиглий, дозріває за 80 днів.

Високий врожай завжди гарантований, якщо з весни склалися умови для нормального розвитку вузлової кореневої системи і в ґрунті є достатньо поживних речовин. Сорт придатний для вирощування в умовах посухи і підвищеної кислотності ґрунтів. За даними заявника рекомендується висівати за 100-відсоткової господарської придатності 4,5-5 млн/га насінин. Сорт має групову стійкість до сажкових хвороб, борошнистої роси, гельмінтоспоріозу. На державних сортодослідних станціях отримали середній врожай 48,4 ц/га, що на 8,8 відсотки більше стандартів. Потенційна можливість сорту 105 ц/га. Рекомендований для вирощування по зонах степу, лісостепу та полісся

Ячмінь Південний

Цикл розвитку: ярий. Сорт напівінтенсивного типу, пластичний. Стійкий до весняних заморозків. Борошнистою росю, бурю іржею, гельмінтоспоріозом уражується нижче стандартів. Виведений у Селекційно-генетичному інституті УААН методом схрещування. Різновидність нутанс. Форма куща прямостояча. Колос дворядний, злегка звужується до верхівки, середньої щільності (на 4 см колосового стрижня припадає 12 - 14 члеників), неламкий. Колосові луски середньої довжини, вузькі. Квіткові луски зморшкуваті, лінійно-ланцетні, тоненькі. Перехід квіткової луски в остюк поступовий. Основна щетинка довговолосиста. Середньостиглий, досягає за 76 - 84 дні. Солома середньої довжини (63 – 73 см), міцна. Стійкий до вилягання та осипання. Має підвищену стійкість до посухи. Краще стандартів використовує осадки другої половини вегетації. За даними заявника, рекомендується висівати за 100 - відсоткової господарської придатності 4,5 - 5 млн/га насіння. Запізнення із сівбою на 5 - 10 днів призводить до недобору врожаю до 8 ц/га.

Здатний в умовах степу забезпечувати врожай 53 - 64 ц/га. Цінний. Має відмінні круп'яні якості. Білка має в зоні степу - 13,6 %, вихід крупи - 44,4%,

високу вирівняність зерна - 97,3 %. Держкомісія України рекомендує вирощувати даний сорт у зонах степу та лісостепу.

Ячмінь Джерело

Цикл розвитку: ярий. Сорт напівінтенсивного типу, пластичний, стійкий до осипання. Стійкий до ураження борошнистою росою, бурю іржею; гельмінтоспориозом уражується слабо. Виведений в інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Різновидність - медікум. Форма куша прямостояча. Колос дворядний, солом'яно-жовтий, нещільний (на 4 см колосового стрижня 10-11 члеників), довжина 6 - 9 см, слабо поникає, солом'яно-жовтого кольору, ромбічної форми. Остюки довгі (довші колоса в 1,5 рази), вгорі слабо зазубрені, зубчики розміщені з обох боків від основи до верху. Квіткові луски зморшкуваті, лінійно - ланцетні, тоненькі. Перехід квіткової луски в остюк поступовий, основна щетина довговолосиста. Зернівка еліптична, нижня частина трохи вкорочена і розширена, жовтого кольору, маса 1000 зерен – 43 – 49 г.

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

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

Відноситься до сортів пивоварного призначення. Білка має 10,7 – 12,0 відсотків, плівчастість 8 - 10, екстрактивних речовин - 79, крохмалю 58 - 60 відсотків.

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

Ячмінь Прерія

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

Ячмінь Бадьорий

Різновидність сорту – *submedicum*. Екотип лісостеповий. Колос дворядний, солом'яно-жовтий, середньої довжини, нещільний (11,8 члеників на 4 см). Соломина середньої довжини (51,5-86,3 см), дуже міцна. Остюки солом'яно-жовті, довгі, зверху слабо зазубрені. Квіткові луски дрібнозморшкуваті, зі слабо вираженою нервацією, поступовим переходом в остюк. Зерно еліптичне, жовте, плівчасте. У сприятливому 1994 році зерно містило 10,61 % білка, 62,4 % крохмалю, 79,77 % екстрактивності, а тому має високі пивоварні якості.

Ячмінь Водограй

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

Ячмінь Геліос

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

Ячмінь Еней

Тип розвитку - дворучка (альтернативний). Сорт інтенсивного типу. Високо адаптований для будь-яких умов вирощування, має підвищену посухостійкість. Добрі результати дає при внесенні повного мінерального

живлення. Слабко уражується гельмінтоспориозом і твердою сажкою. В закладах експертизи за роки випробування отримали середній урожай 54,5-55,7 ц/га, що на 13,7-17,4 ц/га більше стандартів. Рекомендований для поширення в зонах степу, лісостепу та полісся.

Ячмінь Здобуток

Кущ напівпрямостоячий. Рослини середньої висоти, з похилим прапорцевим листком - середня кількість. Початок колосіння - середній. Вегетаційний період 92-98 днів. В закладах експертизи за роки випробування отримали середній урожай 49,5-54,5 ц/га, що на 10,1-14,8% більше стандартів. Стійкий щодо полягання та осипання. Добрі результати дає при внесенні повного мінерального живлення. Слабко уражується гельмінтоспориозом і твердою сажкою. Протруєння насіння перед сівбою Вітаваксом 200 ФФ забезпечує повний захист від хвороб. Добре адаптований до всіх природно - кліматичних умов України.

Ячмінь Командор

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

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

3.1 Сучасний стан моделювання формування врожаю ярого ячменю

В даний час розроблено вже досить багато довгоперіодних динамічних моделей різних сільськогосподарських культур, що дозволяють оцінити ріст рослини протягом вегетаційного періоду як результуючу основних фізіологічних процесів. При побудові багатьох довгоперіодних динамічних моделей використовуються методології, розроблені Россом [8], Тоомінгом [9], Торнлі [10], а також сформульовані цими авторами принципи моделювання ряду фізіологічних процесів.

Детальна модель енерго- і масообміну в системі рослина - атмосфера і продуктивності посіву SPAM наведена також в роботах Стюарта і Лемона [12], Аллена та ін. У цій моделі листя також розділені на класи за освітленням а фотосинтез листа враховується через формулу Шарт'є. Вперше врахована залежність продихового опору від радіації. Детально враховані турбулентність, режим CO_2 посіву та опір прикордонного шару листа r_a . Модель добре співпадає з результатами експериментів на посіві кукурудзи, з її допомогою проведено велику кількість чисельних експериментів для визначення денного ходу фотосинтезу і з'ясування ролі радіації.

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

мінерального живлення. Проведено чисельні експерименти при різних рівнях мінерального живлення і зволоження ґрунту.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В Україні значні розробки щодо створення методів оцінки агрометеорологічних умов і прогнозування врожайності сільськогосподарських культур виконані в рамках створеного В.П. Дмитренко [18] наряду на основі запропонованої ним моделі врожайності сільськогосподарських культур.

У роботах В.С. Антоненко [19] і Н.І. Гойси запропонована параметризаційна модель формування врожаю озимої пшениці в Україні в період весняно - літньої вегетації. У подальшій роботі В.С. Антоненко запропонував динамічну модель росту, розвитку та формування продуктивності озимої пшениці, яка описує весь життєвий цикл культури, «від насіння до насіння». В основу моделі покладено базова динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських модифікацій за більш детального обліку впливу волого - температурного режиму на процес фотосинтезу і комплексної оцінки впливу на ріст і формування репродуктивних органів таких екстремальних явищ як посуха і суховії (за методом М.С. Кулика і І.А. Цубербіллер), полягання посівів (за методом О.Д. Пасечнюка), «стікання» зерна (за методом І.В. Свісюка).

У роботі А.М. Польового і М.І. Кульбіди [20] запропоноване моделювання формування врожаю озимої пшениці в період весняно - літньої вегетації в Україні.

Моделювання біомаси і врожайності зернових культур ячменю і вівсяних посівів за допомогою модель Sirius викладені в роботах [21]. Механістичні моделі культур широко використовуються для моделювання реакції врожаю пшениці на навколишнє середовище. Водночас, було лише

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

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

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

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

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

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

У роботах Р.П. Елліс і Б. Маршалла запропонована модель росту, врожайності і якості зерна ячменю (*Hordeum vulgare* L.) в залежності від поглинання азоту [24].

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

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

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

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

Прогнозування врожайності в Швеції на основі аналізу метеорологічної мезомасштабної циркуляції запропоноване Валентином Л. Фольтеску. В цій роботі запропоновану систему рівнянь для прогнозування регіонального росту сільськогосподарських культур в Швеції. Система включає в себе впроваджену модель росту сільськогосподарських культур, і вихідні дані, отримані за допомогою метеорологічної мезомасштабної інформації. Модельовані культури - ярий ячмінь, ярий ріпак, овес і озима пшениця, а період дослідження 1985-98. Змодельований урожай в умовах обмежених водних ресурсів використовується як орієнтир у процедурі передбачення врожайності. Також пояснюються технологічні тенденції до щорічного збільшення рівня виробництва [26].

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

Вибір моделі врожайності ячменю за допомогою теоретико - інформаційних критеріїв запропонований Марі Жазенюк, Марк Л. Тапер, Ніколь С. Вагнер, Роберт Н. Стоугард, Моніка Брелсфорд, і Брюс Д. Максвелл [28].

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

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

Була розроблена і використана імітаційна модель врожаю ячменю для оцінки стратегій управління виробництвом його на північному сході Австралії. Було проведено дослідження для виявлення кращої стратегії управління для ячменю (*Hordeum vulgare* L.), зокрема, в залежності від часу посадки, розташування, і ризику заморозків в змінному кліматі на північному сході Австралії. Для досягнення цієї мети, була побудована стимуляційна модель росту сільськогосподарських культур (Q_{bar}) побудована для інтеграції даних, накопичених в ході польових експериментів, у сфері динаміки вирощування сільськогосподарських культур під впливом вологості ґрунту і чинників навколишнього середовища. Q_{bar} імітує ріст і врожайність ячменю, вирощеного при оптимальному рівні поживних речовин, в відсутність шкідників, хвороб і бур'янів. Генотипічні змінні були визначені для 4 сортів, часто вирощуваних у північних районах вирощування зернових. Симуляція проводилася з використанням довгострокових метеорологічних даних для генерації імовірнісної врожайності CV [29].

3.2 Моделювання впливу змін клімату на продуктивність ярого ячменю

Для розробки сценарію зміни клімату A2 та A1B з 2011 до 2050 рік використовувалась базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур А.М. Польового [16].

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

Основні концептуальні положення такі:

- ріст і розвиток рослин визначається генотипом і чинниками зовнішнього середовища;
- моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу і поглинених елементів мінерального живлення з урахуванням потреб для росту в асимілятах надземної і підземної частин рослин;
- моделюються радіаційний, тепловий і водний режими системи грунт - рослина - атмосфера;
- моделюється трансформація форм азоту в ґрунті та азотне живлення рослин;
- моделюється гідроліз рослинної тканини при старінні рослин і в стресових умовах, а також перетік продуктів гідролізу з листя, стебел, коренів у репродуктивні органи;
- моделюється вплив агрометеорологічних умов в основні міжфазні періоди сільськогосподарських культур на формування урожаю, втрати урожаю за рахунок посухи, а для зернових колосових культур - полягання посівів і "стікання" зерна [14].

Модель складається з 7 блоків (рис. 3.1):

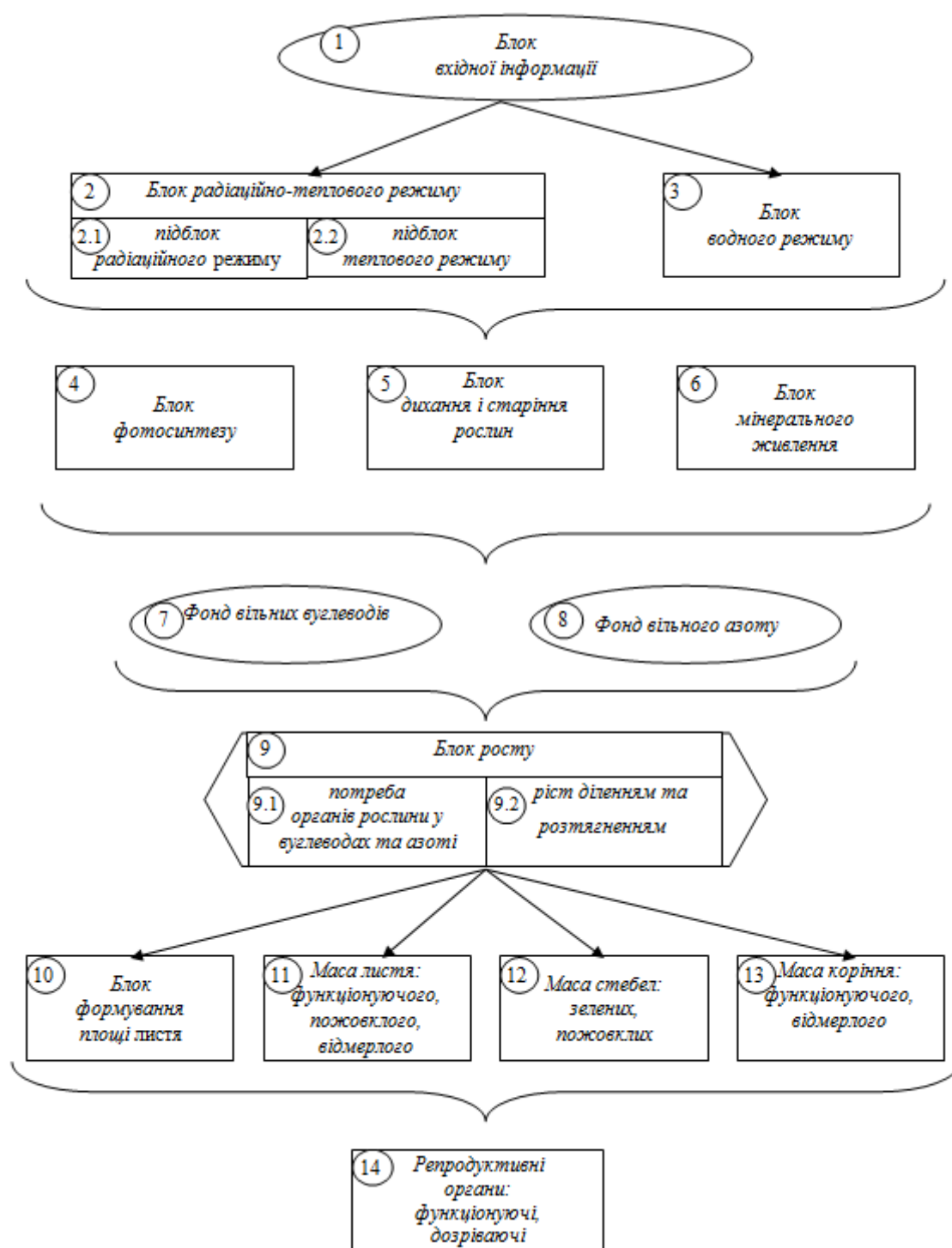


Рисунок 3.1 – Блок-схема базової динамічної моделі формування урожаю сільськогосподарських культур.

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

Розглядається, що рослина складається з двох функціонально пов'язаних частин: надземної (*shoot*) і підземної (*root*), які у свою чергу поділяються на окремі органи або їх складові частини. Виділяються: функціонуючі листки (l_{func}), пожовклі листки (l_{yel}), відмерлі листки (l_{mor}), зелені стебла (s_{gr}), пожовклі стебла (s_{yel}), функціонуючі корені (r_{func}), відмерлі корені (r_{mor}), функціонуючі репродуктивні органи (p_{func}), дозріваючі репродуктивні органи (p_{rip}).

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

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

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

Моделі реалізовано в двох варіантах - з добовим кроком в часі та з декадним кроком [14].

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 - альбедо РП і поверхні ґрунту;

a_Q - функція пропускання сумарної радіації РП.

Альбедо рослинного покриву визначається за формулою

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

де

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

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

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

де α_s - альbedo поверхні ґрунту;

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

W_{ss} - вологість поверхневого шару ґрунту;

W_{wp} - вологість стійкого в'янення;

W_{FC} - найменша вологоємність ґрунту.

Функцію пропускання сумарної радіації знаходимо за формулою

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

де c_2, c_3 - емпіричні постійні;

k_s^L - емпірична постійна, що характеризує вплив геометричної структури РП на пропускання сонячної радіації [29].

Величини балансу довгохвильової радіації визначаються за такими формулами:

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

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

де F_A - противипромінювання атмосфери

ε_L і ε_S - коефіцієнти сірості листя і ґрунту;

σ - постійна Стефана-Больцмана;

T_L, T_S - температура листя і ґрунту;

k - емпіричний параметр орієнтації листя.

Противипромінювання атмосфери визначається за виразом

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

де T_a - температура повітря;

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

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

Потік тепла у ґрунті приймається пропорційним радіаційному балансу поверхні ґрунту

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

де c_{BS} - емпірична постійна.

Сумарна короткохвильова радіація визначається за формулою

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

де $A_1 - A_6$ - константи;

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

3.4 Моделювання водного режиму рослинного покриву

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

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

де ψ - потенціал тиску ґрунтової вологи;

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

$K(\Theta)$ - гідравлічна провідність;

Θ - об'ємна вологість;

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

t - час; z - вертикальна координата.

Як початка умова ($t = 0$) задається

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

За граничні умови приймається:

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

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

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

- на поверхні ґрунту z_o (верхня межа)

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

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

де P_s - кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту;

E - випаровування з поверхні ґрунту;

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

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 листкової поверхні

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

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

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

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

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 листя.

Опір примежового шару визначається за виразом

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

де d_o - висота шару витіснення;

z_o - висота шару шорсткості;

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 води 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 [20]:

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

і

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

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

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

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

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

C_i - кількість вуглеводів тканин, які старіють.

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

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

де C_G - коефіцієнт витрат на дихання росту;

C_m - коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

α_R - онтогенетична крива дихання;

dm / dt - приріст біомаси рослин;

m - маса рослин;

φ_R - температурна крива дихання.

3.6 Моделювання росту рослин

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

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

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

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

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]:

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

де

$mC(N)_{l_{func}}, mC(N)_{l_{yel}}, mC(N)_{s_{gr}}, mC(N)_{s_{gr}}, mC(N)_{s_{yel}}, mC(N)_{p_{func}}, mC(N)_{p_{rip}}$ -

кількість вуглеводів і азоту відповідно у функціонуючих та пожовклих
листя, зелених та пожовклих стеблах, функціонуючих та дозріваючих
репродуктивних органах;

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

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

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

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

Приріст стебел у висоту визначається як

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

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

dm_s/dt - приріст маси стебел;

ρ_s - питома щільність стебел;

r_s - радіус стебел;

N_s - кількість стебел на одну рослину.

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

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

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

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

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

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

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

$$\rho_r = \rho_r^{\max} \left(1 - e^{-d_\rho z}\right), \quad (3.46)$$

де z_r - нижня межа кореневої системи;

m_r - маса коренів;

ρ_r - щільність коренів у ґрунті;

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

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

d_r, d_ρ - емпіричні параметри.

Приведена вище система рівнянь (3.1) - (3.46) описує формування гідрометеорологічного режиму в системі ґрунт - рослина - атмосфера, основні процеси життєдіяльності рослин, їхній ріст та формування врожаю. Вона записана у загальному вигляді і трансформується в залежності від морфологічних та біологічних особливостей сільськогосподарських культур [17].

4 СЦЕНАРІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МАЙБУТНЬОГО КЛІМАТУ

Проблема зміни глобального клімату настільки складна і значима для людства, що її дослідженням займаються великі наукові колективи в багатьох країнах світу, міжнародні організації і спеціально створені творчі групи. Так, у 1988 р. Всесвітньою Метеорологічною Організацією (ВМО) і Програмою ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) була заснована Міжурядова група експертів зі зміни клімату, одну з робочих груп якої очолює академік Російської Академії Наук Ю.А. Ізраєль. Ученими світу розроблені десятки різних сценаріїв можливих змін клімату Землі під впливом антропогенних факторів – зростаючої господарської діяльності людини, а також військових конфліктів різного масштабу. Як уже відзначалося, клімат геологічних епох Землі неодноразово мінявся під впливом природних причин. При вивченні палеокліматів минулих епох російські науковці М.І. Будико, А.А. Величко та ін. показали можливість формування на Землі в доступному для огляду майбутньому кліматичних умов, аналогічних клімату деяких минулих епох. В основу цієї гіпотези покладені оцінки газового стану атмосфери окремих геологічних епох і очікуваних змін концентрації CO_2 , метану й інших газів у найближчі 100 років. Сценарії такого підходу стали називати палеокліматичними.

В основі більшості інших сценаріїв теорії клімату лежать розрахунки, виконані за допомогою математичних моделей, які враховують різні допуски тимчасових змін кількості викидів в атмосферу CO_2 , метану, інертних газів, фреону та ін., зміни вмісту в тропосфері метану й інших парникових газів.

4.1 Сценарії можливих змін клімату

Отже, зміни у глобальній кліматичній системі можуть розглядатися на сьогодні як незаперечний факт, що доводиться метеорологічними даними за останні 150 років за глобальною середньою температурою повітря та океану, підвищенням глобального середнього рівня моря та таненням снігу та льоду. Є дуже ймовірним, що підвищення глобальних середніх температур, яке спостерігається з середини 20 століття, здебільшого викликано підвищенням концентрацій антропогенних парникових газів [30]. Щоб визначити причини змін клімату, що мають місце, а також оцінити майбутні зміни, було реалізовано безпрецедентний за своїми масштабами та кількістю учасників модельний проект – дослідниками з 11 країн було виконано чисельні інтегрування з 23 складними фізико-математичними моделями загальної циркуляції атмосфери і океану. Під час експерименту розраховувався клімат 20 століття при заданих, відповідних до спостережень, концентраціях парникових газів, а також клімат для різних сценаріїв, які наведені у Спеціальній доповіді зі сценаріїв викидів (СДСВ) [31, 38]. Все це дозволило просунутися в уточненні та підвищенні достовірності оцінок майбутніх змін клімату, а також оцінити ймовірнісні розподіли характеристик клімату для кожного зі сценаріїв.

Сучасні моделі загальної циркуляції атмосфери і океану дозволяють розглянути не тільки зміни глобального клімату, а й, певною мірою, оцінити його регіональні аспекти. Наприклад, розділення моделі Лабораторії геофізичної гідродинаміки (GFDL) Національної адміністрації по океану та атмосфері (NOAA) США версії 2.1 становить 2° широти $\times$ $2,5^\circ$ довготи [32], тобто дозволяє достатньо докладно вивчити регіональні особливості майбутніх змін різноманітних кліматичних характеристик над територією, яку можна зіставити з Україною.

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

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

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

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

ПГ, а саме на демографічні зміни, соціально-економічний розвиток, технологічні зміни, використання ресурсів та регулювання забрудненням. Саме цей вплив відображується у сюжетних лініях та підсумкових сценаріях.

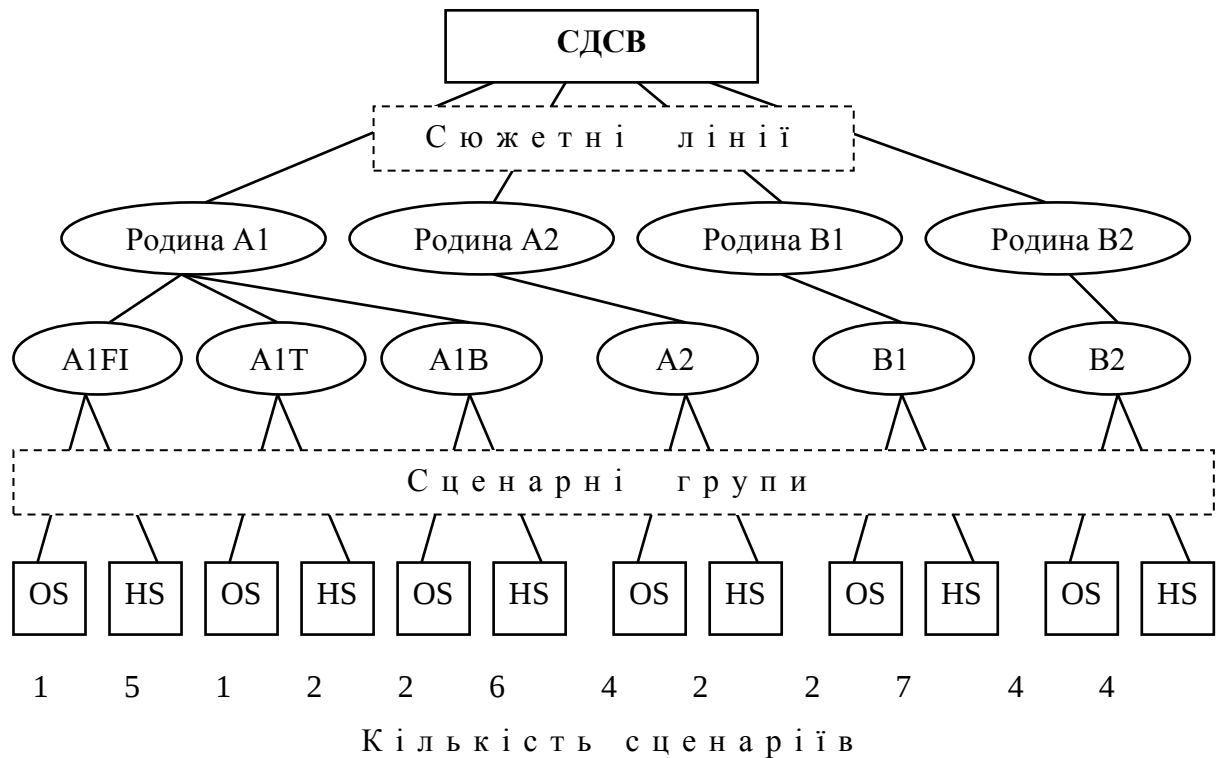


Рисунок 4.1 – Схематична ілюстрація сценаріїв СДСВ [31].

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

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

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

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

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

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

грунтуючись на екстраполяції поточних економічних, технологічних та соціальних тенденцій.

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

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

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

Сюжетна лінія і сценарна родина B2 містить опис світу, в якому головна увага приділятиметься локальним рішенням проблеми економічної, соціальної та екологічної сталості. Це буде світ з глобальним населенням, яке стало збільшується з темпами, нижчими ніж для A2, проміжними рівнями економічного розвитку і менш швидкими, але різноманітнішими, змінами у порівнянні з лініями B1 і A1. Хоч цей сценарій також орієнтований на охорону навколишнього середовища та соціальну справедливість, головна увага у ньому приділятиметься місцевим і регіональним рівням.

Таким чином, при моделюванні клімату 21 століття моделювання ансамблем моделей, до якого належить і модель GFDL, виконувалося з впливом одного з найважливіших зовнішніх чинників – викидів парникових газів до атмосфери, – які, в свою чергу, бралися за сценаріями СДСВ [31]. Отже, результатами інтегрування моделі є численні тривимірні масиви гідрометеорологічних даних.

Серед цих масивів було вибрано два – середньомісячна температура повітря поблизу підстильної поверхні та місячна кількість опадів – для періодів 1986-2000 рр. та 2011-2025 рр. та для трьох сценаріїв – «жорсткого» A2, «помірного» A1B і «м'якого» B1 – у вузлах регулярної сітки, обмеженої широтами 43,5° та 53,5° півн.ш. і довготами 21,25° та 41,25° сх.д.

5 ОЦІНКА ЗМІНИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В ЗВ'ЯЗКУ ЗІ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ

5.1 Агрокліматична оцінка умов вегетаційного періоду ярого ячменю в Вінницькій області

В останні десятиліття на планеті відбуваються досить відчутні зміни клімату, які впливають на різні життєві сфери і в Україні. Особливо актуальні такі зміни для аграрного сектора економіки, вони мають як негативні, так і позитивні наслідки, які пов'язані головним чином з потеплінням. Негативні моменти пов'язані із супроводжуваним потеплінням, яке призводить до тривалих засух, а також із тенденцією підвищення ймовірності екстремальних гідрометеорологічних умов, які можуть виявитися згубними для землеробства країни.

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. Було розглянуто вплив змін клімату на вирощування ярого ячменю на території Вінницької 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 [33-35]:

- 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 [2].

Коли розглядаються зміни клімату, то як критерії таких змін найчастіше використовуються тренди глобальних температур і опадів [33].

Аналіз тенденції впливу зміни клімату на темпи розвитку ярого ячменю в Вінницькій 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.

В Вінницькій області сівба ярого ячменю за середніми багаторічними даними відбувалась наприкінці першої (7.IV) декади квітня. За сценарними розрахунками в період до 2030 рр. терміни сівби будуть майже співпадати з середніми багаторічними.

В період з 2031 по 2050 рр. в Вінницькій області терміни сівби наставатимуть на 18 днів раніше середніх багаторічних, тобто сівба буде проводитись в кінці березня.

Сходи ярого ячменю за середніми багаторічними даними спостерігалися впродовж третьої декади квітня. Розрахунки за сценарієм *A2* показують, що в Вінницькій області сходи будуть спостерігатися в період до 2030 рр. в терміни, близькі до середніх багаторічних даних, а в період з 2031 по 2050 рр. – 12.IV, що на 10 днів раніше, в порівнянні з середніми багаторічними даними. Дати колосіння та воскової стиглості за сценарними розрахунками наставатимуть в Вінницькій області в терміни, близькі до середніх багаторічних термінів базового періоду (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – 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	Сівба	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Вінницька область					
1986-2005	7.IV	22.IV	13.VI	14.VII	98
2011-2030	5.IV	19.IV	15.VI	14.VII	100
Різниця	-2	-3	+2	-	+2
2031–2050	20.III	12.IV	11.VI	14.VII	116
Різниця	-18	-10	-2	-	+18

Тривалість вегетаційного періоду в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) становила 98 днів. У зв'язку з відмінністю дат настання початкових фаз розвитку в Вінницькій області за сценарієм зміни клімату *A2* в перший розрахунковий період (2011-2030 рр.) тривалість вегетаційного періоду в цій області буде співпадати і становитиме 100 днів. В період з 2031 по 2050 рр. тривалість вегетаційного періоду становитиме біля 116 днів, що на 18 днів довше в порівнянні з середніми

багаторічними даними. Збільшення тривалості вегетаційного періоду пояснюється тим, що в результаті погіршення умов вологозабезпечення та зниження температури тривалість окремих між фазних періодів збільшується, а це збільшує загальну тривалість вегетаційного періоду.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B*, терміни сівби ярого ячменю змістяться на більш ранні строки: в Вінницькій області на 7-18 днів в порівнянні з середніми багаторічними даними базового періоду (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – 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	Сівба	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Вінницька область					
1986-2005	7.IV	22.IV	13.VI	14.VII	98
2011-2030	31.III	21.IV	14.VI	15.VII	107
Різниця	-7	-1	+1	+1	+9
2031-2050	20.III	12.IV	8.VI	10.VII	112
Різниця	-18	-10	-5	-4	+14

В Вінницькій області сходи ярого ячменю за середньо багаторічними даними спостерігалися на початку третьої декади квітня (22.IV). Розрахунки за сценарієм *A1B* показують, що в перший період дати настання сходів співпадатимуть з датами базового періоду, а в другий період (2031-2050 рр.) сходи ярого ячменю спостерігатимуться другої декади квітня (12.IV), що на 10 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними. Дати колосіння та воскової стиглості в базовий період наставали відповідно в середині червня (13.VI) та всередині липня (14.VII). За сценарними

розрахунками дати настання цих фаз в перший період співпадатимуть з середніми багаторічними датами, в другий період вони наставатимуть на 4 – 5 днів раніше, ніж в базовий період.

Тривалість періоду сівба – воскова стиглість в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) становила 98 днів, а за сценарієм зміни клімату *A1B* (2011-2030 рр.) в перший та другий розрахункові періоди тривалість становитиме – 107 – 112 днів відповідно, що на 9 – 14 днів довше, ніж в базовий період.

Порівняння динаміки середньої за декаду температури повітря при зміні кліматичних умов за сценарієм *A2* 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 (табл. 5.3).

Середня багаторічна температура в Вінницькій області за період з 1986 – 2005 рр. від сходів до колосіння становила 14,4°C. За сценарієм зміни клімату *A2* в період з 2011 по 2030 рр. від сходів до колосіння середня температура спостерігатиметься 12,2 °C, що 2,2 °C нижче температури базового періоду. В другий період (2031 – 2050 рр.) середня температура від сходів до колосіння становитиме 13,3 °C, що буде 1,1 °C нижче температури базового періоду (табл. 5.3).

В період від сходів до колосіння кількість опадів в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) становила 100 мм, а за сценарієм зміни клімату *A2* (2011-2030 рр.) збільшиться в перший період на 6 % (табл.5.3). В другий період сума опадів від сходів до колосіння зросте і буде на 48 % вищою від середніх багаторічних сум.

Таблиця 5.3 – Агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату *A2* (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
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вінницька область														
1986 – 2005	14,4	100	127	264	137	0,64	18,9	120	83	170	88	0,66	220	0,65
2011 – 2030	12,2	106	116	214	125	0,73	17,5	141	121	233	112	0,70	247	0,71
Різниця	-2,2	+6%	-9%	-19%	-9%	+14%	-1,4	+18%	+46%	+37%	+27%	+6%	+12%	+9%
2031 – 2050	13,3	148	158	303	146	0,70	18,2	102	76	146	69	0,71	250	0,70
Різниця	-1,1	48%	24%	15%	6%	9%	-0,7	-15%	-8%	-14%	-21%	7%	13%	8%

Сумарне випаровування в період від сходів до колосіння за середньо багаторічними даними складало 127 мм. В перший розрахунковий період сумарне випаровування зменшиться в Вінницькій області до 116 мм, що на 9 % менше ніж в базовий період. В другий розрахунковий період відмічатиметься збільшення сумарного випаровування на 24 %.

В період від колосіння до воскової стиглості сума опадів коливалась в середньому багаторічному від 118 до 120 мм в Вінницькій області. За сценарієм в період до 2030 рр. сума опадів зросте на 18 %. В другий розрахунковий період суми опадів зменшиться на 15 % в порівнянні з базовим.

В період від колосіння до воскової стиглості сумарне випаровування за середньо багаторічними даними складало 83 мм. За сценарієм в період до 2030 рр. сумарне випаровування збільшиться в Вінницькій області на 46 %.

В другий розрахунковий період відмічатиметься зменшення сумарного випаровування на 8 % в цій області.

Як показують розрахунки за сценарієм *A2* в перший період випаровуваність від сходів до колосіння в області в порівнянні з базовим зменшиться на 19 %. В період колосіння – воскова стиглість випаровуваність в Вінницькій області зросте на 15 % (табл. 5.3).

Від колосіння до воскової стиглості випаровуваність в перший період зросте в Вінницької області – на 37 % від середніх багаторічних значень. В другий період випаровуваність зменшиться в Вінницькій області на 14 %.

За період від сходів до колосіння дефіцит вологості ґрунту за середньо багаторічними даними по області складав 137 мм. За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* в перший період (2011 – 2030 рр.) дефіцит вологості ґрунту зменшився на 9 % від середніх багаторічних значень. В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) дефіцит вологості ґрунту збільшився на 6 % в порівнянні з базовим.

За середніми багаторічними даними дефіцит вологості ґрунту за період від колосіння до воскової стиглості становив 88 мм. В перший

розрахунковий період дефіцит вологості ґрунту за цей період збільшиться на 27 % в порівнянні з базовим періодом. В другий розрахунковий період дефіцит вологості ґрунту зменшиться на 21 % від середніх багаторічних значень.

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів ярого ячменю від сівби до колосіння складала 0,64 відн. од. За умов реалізації сценарію зміни клімату *A2* за період 2011 – 2030 рр. вологозабезпеченість посівів ячменю в Вінницькій області зросте на 14 %. В другий розрахунковий період вологозабезпеченість за сценарними даними зросте в Вінницькій області – на 9 %.

В період від колосіння до воскової стиглості вологозабезпеченість зростатиме і в перший і в другий розрахункові періоди в Вінницькій області на 7 – 16 % відповідно.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період (2011 – 2030 рр.) розвиток ячменю відбуватиметься за більш низьких температур (13,8°C) в Вінницької області. Середня температура буде нижчою, ніж в базовий період на 0,6 °C. В другий розрахунковий період (2031 – 2050 рр.) середня температура буде трохи нижчою ніж середні багаторічні значення (на 0,5 °C) (табл. 5.4).

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в перший період від сходів до колосіння збільшиться в Вінницькій області 32 % (табл. 5.4). В другий розрахунковий період опади теж будуть збільшуватись, але значно менше чим на 18%.

В міжфазний період колосіння – воскова стиглість за сценарієм *A1B* спостерігатиметься значне зменшення суми опадів в Вінницькій області на 30 % в перший розрахунковий період.

В другий розрахунковий період в Вінницькій області – на 40 % в порівнянні з базовим.

Таблиця 5.4– 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 волого-забезпеченність, відн.од	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	дефіцит вологості, мм	вологозабезпеченність, відн. од	сума опадів, мм	вологозабезпеченність, відн.од
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вінницька область														
1986 – 2005	14,4	100	127	264	137	0,64	18,9	120	83	170	88	0,66	220	0,65
2011 – 2030	13,8	132	159	319	160	0,67	18,9	84	78	164	87	0,63	216	0,65
Різниця	-0,6	32%	25%	21%	17%	+4,7%	-	-30%	-6%	-3%	-1%	-4%	-2%	-
2031 – 2050	13,9	118	146	310	164	0,63	19,3	72	66	141	75	0,62	190	0,63
Різниця	-0,5	18%	15%	17%	20%	-1,5%	+0,6	-40%	-20%	-17%	-15%	-6%	-13%	-3%

За сценарними розрахунками *A1B* випаровування в період сходи – колосіння зростатиме в обидва розрахункові періоди. В Вінницькій області зростання випаровування в порівнянні з базовим становитиме 25 %.

В період колосіння – воскова стиглість сумарне випаровування за розрахунками за сценарієм *A1B* в перший період зменшиться на 6 % в порівнянні з середніми багаторічними значеннями. В другий розрахунковий період в Вінницькій області зменшиться – на 20 % в порівнянні з базовим.

В період від сходів до колосіння випаровуваність за сценарієм *A1B* зросте. Темпи її зростання будуть неоднаковими. Так, в Вінницькій області вона зросте на 21 % в перший період і на 17 % в другий.

В період від колосіння до молочної стиглості за умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* в обидва розрахункові періоди випаровуваність зменшиться. В перший період випаровуваність зменшиться на 3 %, а в другий розрахунковий період на 17 % в порівнянні з базовими значеннями.

В перший розрахунковий період від сходів до колосіння за сценарієм *A1B* вологозабезпеченість незначно зменшиться або залишиться на рівні середніх багаторічних значень і складатиме 0,67 відн. од. в Вінницькій області, що на 4,7 % більше в порівнянні з базовими значеннями.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B* за період 2030 – 2050 рр. вологозабезпеченість посівів ячменю в Вінницькій області в період від колосіння до воскової стиглості зменшиться на 4 %. В другий розрахунковий період вологозабезпеченість за сценарними даними зменшиться в Вінницькій області – на 6 %.

Вологозабезпеченість в період від 2031 по 2050 рр. за вегетаційний період в порівнянні з базовим зменшиться в Вінницькій області на 3 %.

5.2 Оцінка за допомогою моделі продукційного процесу рослин фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю в зв'язку зі зміни клімату

5.2.1 Очікувані зміни продуктивності ярого ячменю за сценарієм A2.

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 Вінницької області наведені табл. 5.5.

Розглянемо тепер як змінюватимуться показники фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за сценарієм зміни клімату A2 впродовж періоду вегетації ярого ячменю.

Максимальна площа листя ярого ячменю в Вінницькій області за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігалась у п'яту декаду вегетації і була $1,87 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В цій зоні за сценарієм вона в перший період зростатиме до сьомої декади і становитиме $3,49 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Збільшення CO_2 в цей же період спричинить зростання максимальної площі листя до $3,85 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В другий період (2031-2050 рр.) збільшення максимальної площі листя відбуватиметься повільніше і становитиме за сценарієм $2,79 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за умови збільшення CO_2 - до $3,06 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (рис. 5.1), що буде відповідно на 46 % та 67 % більше, ніж в базовий період.

Таблиця 5.5 – 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	Суха біомаса, г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²	Урожай, ц/га
Вінницька область							
1986-2005	Базовий	1,87	76	132	490	86	27
2011-2030	Клімат	3,49	71	240	910	173	50
	Клімат + CO ₂	3,85	72	270	1018	189	56
2031-2050	Клімат	2,79	74	188	728	132	38
	Клімат + CO ₂	3,06	76	212	813	144	43

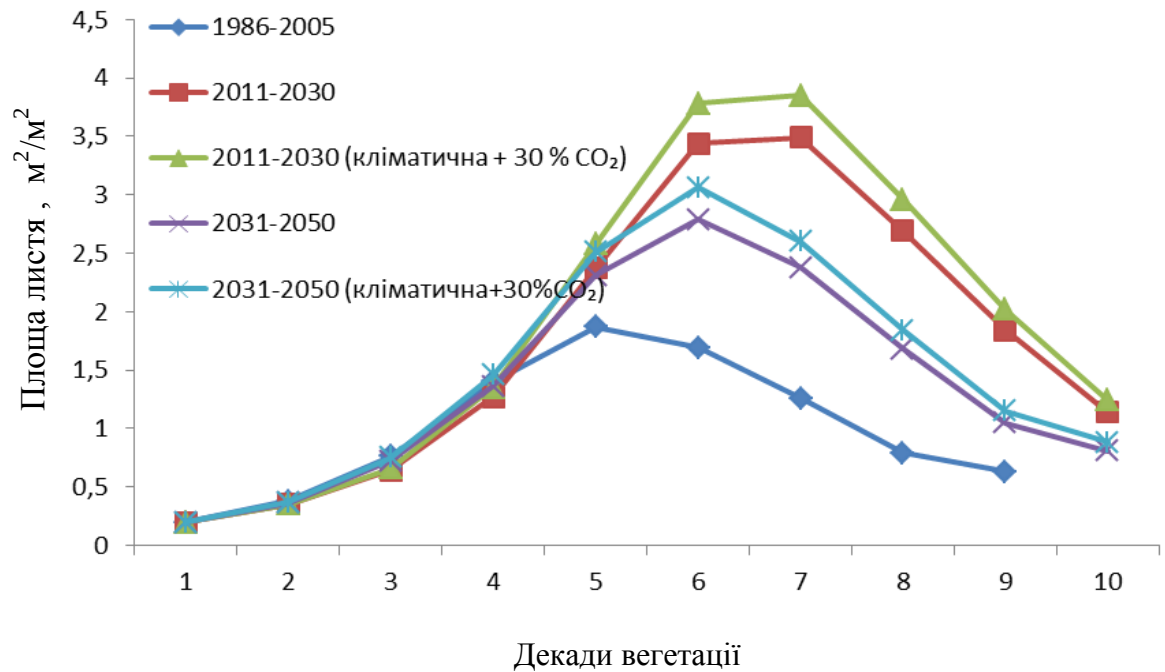


Рисунок 5.1 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) збільшувалась з першої по п'яту декади вегетації і складала $76 \text{ г}/\text{м}^2$, потім почала знижуватися. За сценарієм зміни клімату A2 чиста продуктивність фотосинтезу буде збільшуватись теж до п'ятої декади вегетації і в умовах збільшення CO_2 та складатиме $71 \text{ г}/\text{м}^2$ та $72 \text{ г}/\text{м}^2$ відповідно (рис. 5.2). В другий період (2031 – 2050 рр.) чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю за значеннями буде трохи нижчою, ніж в перший період.

Таким чином, збільшення приросту маси рослин в усі періоди спричинить зростання сухої маси в кожній зоні, але темпи зростання будуть різними. Так, в суха маса цілої рослини ярого ячменю в перший період (2011-2030 рр.) збільшиться в Вінницькій області і становитиме – 52 % в порівнянні з базовим періодом.

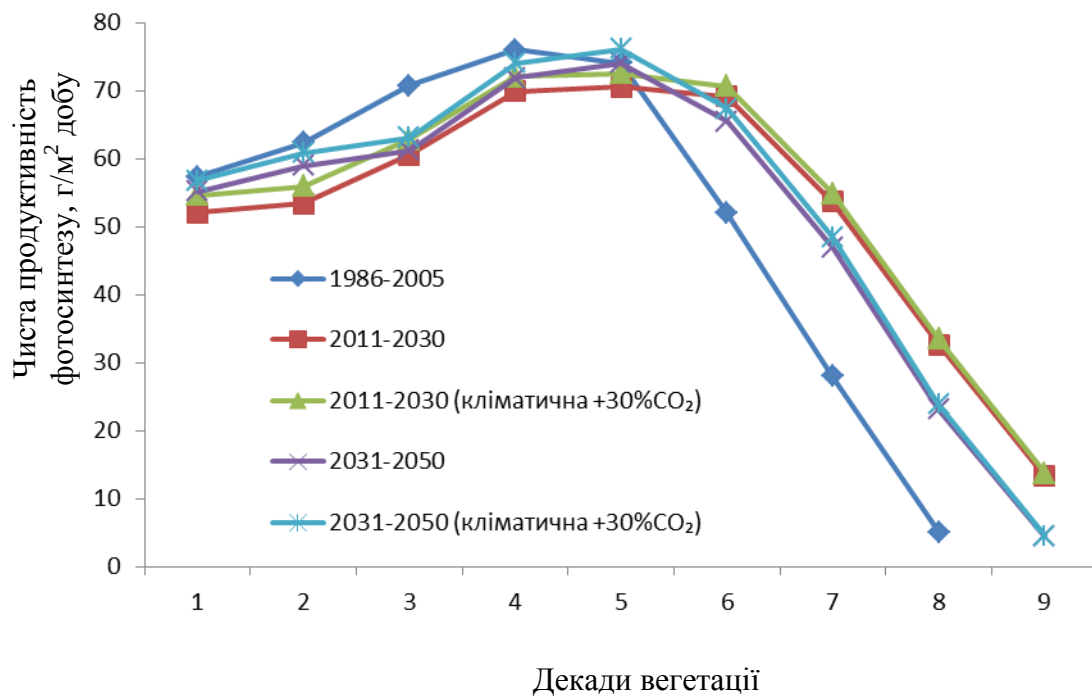


Рисунок 5.2 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

Підвищення вмісту CO_2 в перший період сприятиме зростанню сухої маси рослин в Вінницькій області – на 70 %.

Впродовж вегетаційного періоду в Вінницькій області суха маса ярого ячменю в базовий період збільшувалась з четвертої її до дев'ятої декади і становила 311 г/м^2 (рис. 5.3). За сценарієм зміни клімату в перший період (2011-2030 рр.) в Вінницькій області, суха маса ярого ячменю почне збільшуватись з п'ятої декади вегетації це збільшення триватиме до десятої декади і становитиме 580 г/м^2 . За умов збільшення CO_2 суха маса в десятій декаді досягне до 651 г/м^2 . За сценарієм зміни клімату в другий період (2031-2050 рр.) динаміка накопичення сухої маси буде мати подібний хід і на

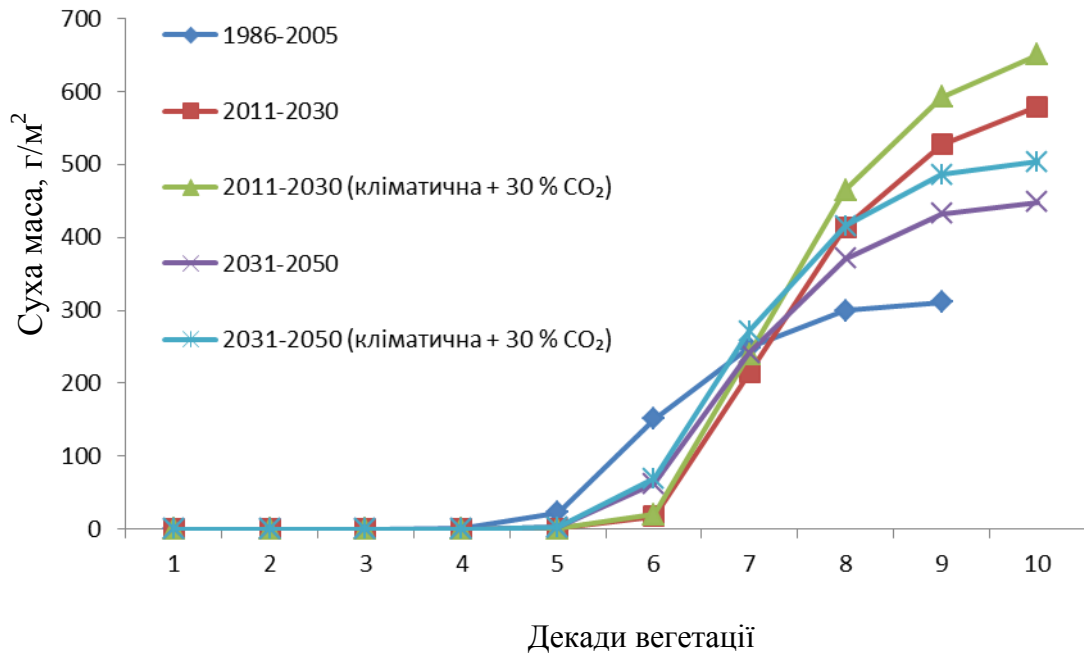


Рисунок 5.3 – Суха маса ярого ячменю в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

десяту декаду вона становитиме 448 г/м². При збільшенні CO₂ суха маса збільшиться до 503 г/м². Як видно із рис. 5.3 в другий період прирости сухої маси будуть меншими, ніж в перший період.

Збільшення показників фотосинтетичної продуктивності посівів сприятиме збільшенню врожаю зерна.

Середній урожай в базовому періоді становив в Вінницькій області – 27 ц/га.

За сценарієм зміни клімату A2 в перший період врожай зросте в Вінницькій області – до 50 ц/га. Збільшення вмісту CO₂ в атмосфері з 380 до 470 ppm суттєво підвищить рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів і, як результат, збільшення показників фотосинтетичної продуктивності підвищить врожай зерна. Очікуваний урожай ярого ячменю становитиме в Вінницькій області 56 ц/га, що на 29 ц/га більше порівняно з базовим періодом (табл. 5.5).

В другий період (2031-2050 рр.) збільшення врожаю в Вінницькій області становитиме — 38 ц/га, що на 11 ц/га більше ніж в базовий період, але на 12 ц/га менше, ніж в перший період.

Збільшення вмісту CO_2 в атмосфері з 380 до 470 ppm в другий період спричинить підвищення врожаю зерна в Вінницькій області до — 43 ц/га, що на 16 ц/га більше порівняно з базовим періодом.

5.2.2 Очікувані зміни продуктивності ярого ячменю за сценарієм A1B.

Варіанти дослідження такі ж як і в попередньому сценарії.

Площа листя в період максимального розвитку в базовий період складала $1,87 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

За умов реалізації сценарію зміни клімату A1B за період 2011 – 2030 рр. площа листя ярого ячменю в період максимального розвитку збільшиться в Вінницькій області на $1,0 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 5.6).

В умовах збільшення CO_2 площа листя ярого ячменю зросте в Вінницькій області на 68 %.

В другий період (2031 – 2050 рр.) площа листя ярого ячменю збільшиться в Вінницькій області на $0,36 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 5.6).

В умовах збільшення CO_2 в другий період площа листя ярого ячменю зросте в порівнянні з базовим в Вінницькій області на 19 %.

В базовий період фотосинтетичний потенціал складав $86 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю за сценарієм зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) в Вінницькій області становитиме $127 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на $41 \text{ м}^2/\text{м}^2$ більше порівняно з базовим періодом.

В умовах збільшення CO_2 фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в порівнянні з базовим в Вінницькій області зросте на 19 %.

Таблиця 5.6 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	Варіант	Площа листя в період 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	Суха біомаса , г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²	Урожай, ц/га
Вінницька область							
1986-2005	Базовий	1,87	76	132	490	86	27
2011-2030	Клімат	2,87	80	213	745	127	42
	Клімат + CO ₂	3,14	85	239	832	137	46
2031-2050	Клімат	2,23	73	156	564	105	31
	Клімат + CO ₂	2,43	76	175	629	113	34

Приріст маси ярого ячменю в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату *A1B* (2011-2030 pp.) збільшиться в Вінницькій області на 81 г/м²дек.

Підвищення вмісту CO₂ в атмосфері з 380 до 470 *ppm* обумовить в перший період збільшення приросту маси ярого ячменю в період максимального розвитку в Вінницькій області на 107 г/м²дек (табл. 5.6).

Приріст маси ярого ячменю в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату *A1B* в другий період (2031-2050 pp.) збільшиться в Вінницькій області на 24 г/м²дек.

Підвищення вмісту CO₂ в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в цей період обумовить збільшення приросту маси ярого ячменю в Вінницькій області – на 43 г/м²дек (табл. 5.6).

Урожай ярого ячменю за сценарієм зміни клімату *A1B* в перший період (2011-2030 pp.) в Вінницькій області буде очікуватись до 42 ц/га, що на 15 ц/га вище врожаю базового періоду.

Збільшення вмісту CO₂ в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в перший період суттєво підвищить рівень показників фотосинтетичної діяльності посівів, що спричинить підвищення врожаїв зерна. Очікуваний урожай ярого ячменю за сценарієм *A1B* становитиме в Вінницькій області 46 ц/га, що на 19 ц/га більше порівняно з базовим періодом (табл. 6.39).

В другий розрахунковий період в Вінницькій області урожай ярого ячменю за сценарієм (2031-2050 pp.) становитиме 31 ц/га, що на 4 ц/га більше середніх багаторічних даних.

Збільшення вмісту CO₂ в атмосфері з 380 до 470 *ppm* в другий період підвищить рівень врожайності. Очікуваний урожай ярого ячменю становитиме в Вінницькій області 34 ц/га, що на 7 ц/га більше порівняно з базовим періодом (табл. 6.39).

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

Максимальна площа листя ярого ячменю в Вінницькій області спостерігалась у шосту декаду вегетації за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) і становила $1,87 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Максимальна площа листя ярого ячменю в Вінницькій області зростатиме в перший період та умов збільшення CO_2 до $2,87 - 3,14 \text{ м}^2/\text{м}^2$ відповідно (рис. 5.4). В другий період вона становитиме $2,23 \text{ м}^2/\text{м}^2$ та $2,43 \text{ м}^2/\text{м}^2$ відповідно, що на 19 % та 30 % більше в порівнянні з базовим періодом.

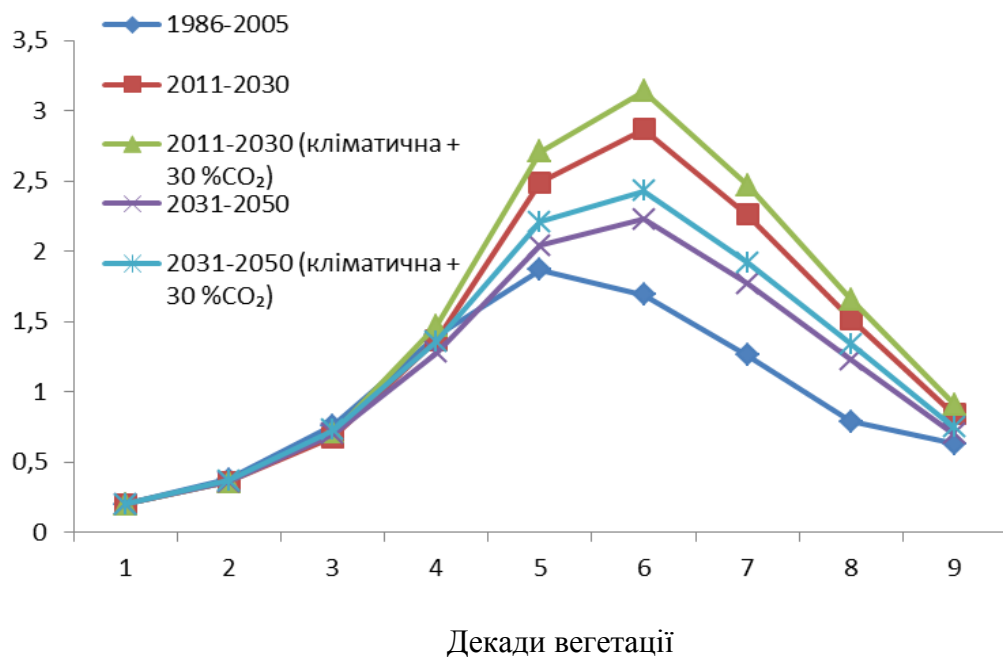


Рисунок 5.4 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Вінницькій області за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) зростала з першої по четверту декади вегетації мала значення $76 \text{ г}/\text{м}^2$, потім почала знижуватися. В перший період хід чистої продуктивності за сценарієм такий

же як і в базовий період, і в умовах підвищення CO_2 він збережеться і буде становити 80 г/м^2 та 85 г/м^2 відповідно (рис. 5.5).

В другий період чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю зростатиме до четвертої декади і становитиме 73 г/м^2 , що на 3 г/м^2 менше в порівнянні з базовим періодом (рис. 5.5).

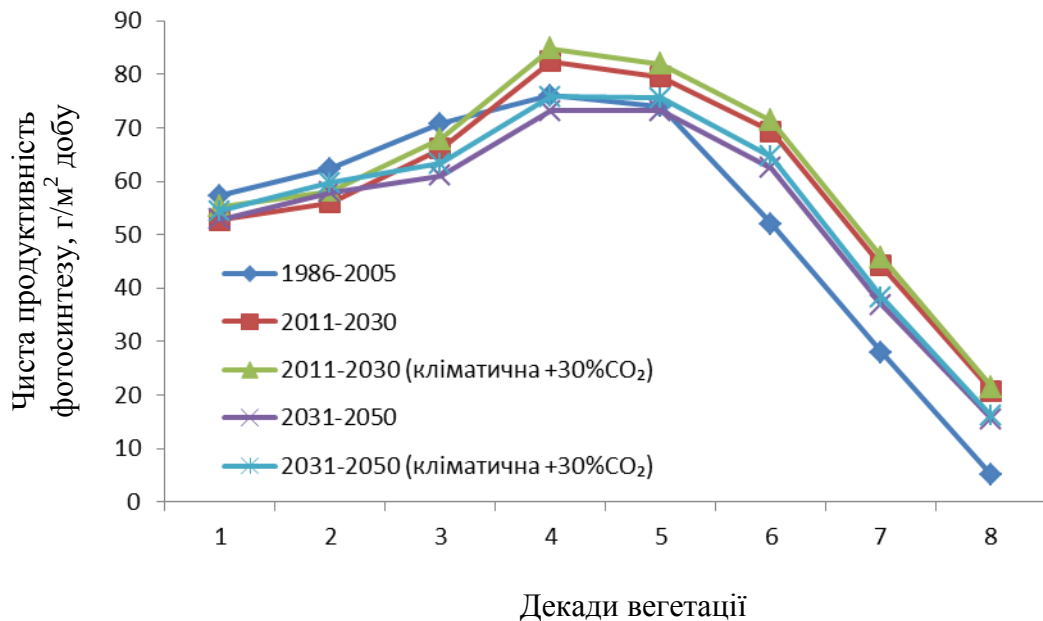


Рисунок 5.5 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

В Вінницькій області суха маса ярого ячменю за середніми багаторічними даними збільшувалась з четвертої до дев'ятої декади вегетації і становила 311 г/м^2 (рис. 5.6). За сценарієм зміни клімату (2011-2030 рр.) в перший розрахунковий період суха маса ярого ячменю почне збільшуватись з п'ятої і триватиме до дев'ятої декади і в дев'яту декаду вегетації 481 г/м^2 . При підвищенні рівню CO_2 збільшиться суха маса зросте до 540 г/м^2 в дев'ятій декаді. В другий період за кліматичним сценарієм суха маса досягне максимальних значень в дев'яту декаду вегетації і становитиме 317 г/м^2 . При збільшенні CO_2 маса зросте до 336 г/м^2 в десятій декаді.

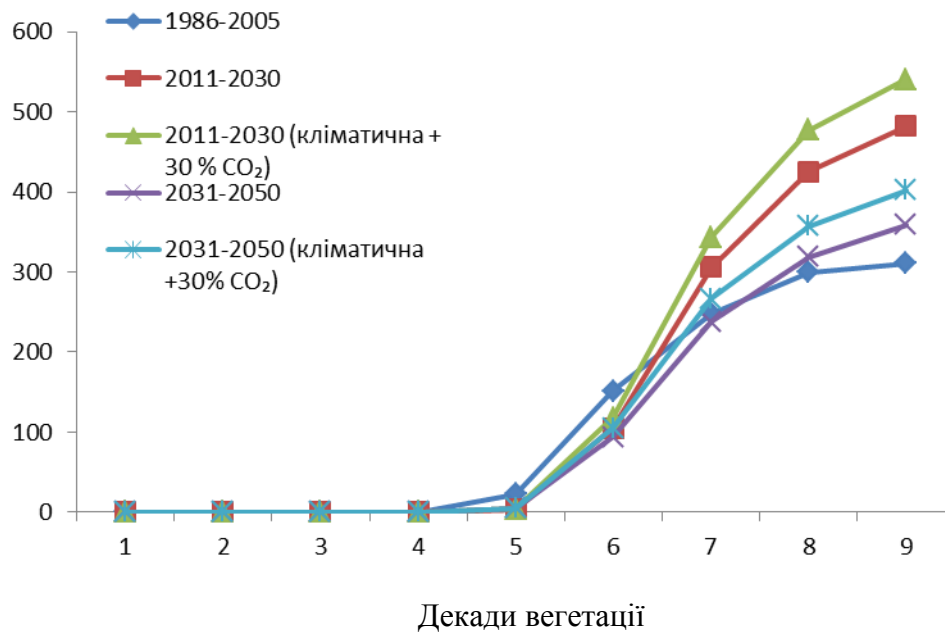


Рисунок 5.6 – Суха маса ярого ячменю в Вінницькій області за середньобогаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату A1B (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

За умов реалізації сценарію зміни клімату A2 середні урожаї в перший розрахунковий період (2011 – 2030 рр.) становитимуть 44 ц/га.

Розрахунки забезпеченості врожаїв ярого ячменю за сценарієм зміни клімату A2 показали, що в перший розрахунковий період (2011 – 2031 рр.) найбільшу забезпеченість на рівні 90 – 95 % у Вінницькій області матимуть урожаї 24 – 28 ц/га (табл. 5.7).

На території Вінницької області високі врожаї ярого ячменю до 60 ц/га, можуть спостерігатися не частіше одного разу в 10 років.

В цій області максимальні врожаї 60 – 62 ц/га забезпечені тільки на 5 %. Тобто високі врожаї в цій області можливі один раз у 20 років.

За умов реалізації сценарію зміни клімату A2 середні урожаї в другий розрахунковий період (2030 – 2050 рр.) становитимуть 38 ц/га.

За умов реалізації сценарію зміни клімату A2 в другий розрахунковий період найбільш забезпеченими будуть врожаї у Вінницькій області – 10 –

28 ц/га (табл. 5.7). Судячи з таблиці урожай із забезпеченням 90 – 95 % в цій області зменшиться і в той же час один раз у 20 років, тобто із забезпеченістю 5%, урожай можна отримати на рівні 50 – 55 ц/га в цій області. Можна зробити висновок, що в цей період збільшиться міжрічна мінливість урожаїв ярого ячменю.

Таблиця 5.7 – Забезпеченість ймовірних врожаїв ярого ячменю (ц/га) за умов реалізації сценарію зміни клімату A2 (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.).

Період	$\bar{Y}$	Забезпеченість, %										
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Вінницька область												
2011 – 2030 рр.	44	62	60	54	50	48	45	41	39	35	28	24
2031-2050 рр.	38	55	48	46	45	43	40	37	34	28	21	10

За умов реалізації сценарію зміни клімату A1B середні урожаї в перший розрахунковий період (2011 – 2030 рр.) очікуватимуться нижчі, ніж за сценарієм A2 і становитимуть в Вінницькій області – 33 ц/га. Розрахунки очікуваної ймовірності врожаїв за цим сценарієм показали, що найбільш забезпеченими (90 – 95%) будуть урожаї в Вінницькій області – 13 - 19 ц/га (табл. 5.8).

У Вінницькій області за сценарієм зміни клімату (2011-2030 рр.) ймовірність отримання високих врожаїв до 58 ц/га не перевищує 5%, тобто один раз на 20 років, а ймовірність отримання урожаїв до 19 ц/га становить 90 % (табл. 5.8).

Щорічно можна очікувати урожаї на рівні не менше 13 ц/га.

Таблиця 5.8 – Забезпеченість ймовірних врожаїв ярого ячменю (ц/га) за умов реалізації сценарію зміни клімату А1В (2011-2030 рр.) і (2031-2050 рр.)

Період	$\bar{Y}$	Забезпеченість, %										
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Вінницька область												
2011 – 2030 pp.	33	58	49	43	38	36	33	29	27	23	19	13
2031-2050 pp.	28	50	40	36	30	28	26	25	23	21	19	15

Як видно, з проведених розрахунків сумарної ймовірності врожаїв ярого ячменю у Вінницькій області за сценарієм зміни клімату (2031-2050 рр.), ймовірність отримання високих врожаїв до 50 ц/га не перевищує 5%, тобто один раз на 20 років. Щорічно за сценарієм зміни клімату (2031-2050 рр.), можна очікувати отримання урожаїв ярого ячменю не менше 15 ц/га (табл. 5.8).

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи були отримані наступні основні результати:

1. Вивчено агрокліматичні ресурси Вінницької 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. Вивчено питання про зміну клімату та вплив на сільське господарство.
5. Аналіз тенденції впливу зміни клімату на темпи розвитку ярого ячменю в Вінницькій 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.

В Вінницькій області сівба ярого ячменю за середніми багаторічними даними відбувалась наприкінці першої (7.IV) декади квітня. За сценарними розрахунками в період до 2030 рр. терміни сівби будуть майже співпадати з середніми багаторічними. В період з 2031 по 2050 рр. в Вінницькій області терміни сівби наставатимуть на 18 днів раніше середніх багаторічних, тобто сівба буде проводитись в кінці березня.

Дати колосіння та воскової стиглості за сценарними розрахунками наставатимуть в Вінницькій області в терміни, близькі до середніх багаторічних термінів базового періоду.

За умов реалізації сценарію зміни клімату *A1B*, терміни сівби ярого ячменю змістяться на більш ранні строки: в Вінницькій області на 7-18 днів в порівнянні з середніми багаторічними даними базового періоду.

В Вінницькій області сходи ярого ячменю за середньо багаторічними даними спостерігалися на початку третьої декади квітня (22.IV). Розрахунки за сценарієм *A1B* показують, що в перший період дати настання сходів

співпадатимуть з датами базового періоду, а в другий період (2031-2050 рр.) сходи ярого ячменю спостерігатимуться другої декади квітня (12.IV), що на 10 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними. Дати колосіння та воскової стиглості в базовий період наставали відповідно в середині червня (13.VI) та всередині липня (14.VII). За сценарними розрахунками дати настання цих фаз в перший період співпадатимуть з середніми багаторічними датами, в другий період вони наставатимуть на 4 – 5 днів раніше, ніж в базовий період.

Тривалість вегетаційного періоду в Вінницькій області за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) становила 98 дні. У зв'язку з відмінністю дат настання початкових фаз розвитку в Вінницькій області за сценаріями зміни клімату *A2* та *A1B* в перший розрахунковий період (2011-2030 рр.) тривалість вегетаційного періоду в цій області становитиме 100 - 107 днів. В період з 2031 по 2050 рр. тривалість вегетаційного періоду становитиме біля 112 -118 днів, що на 14 - 18 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 Винницкой области. – Л.: Гидрометеиздат, 1958.
2. Агрокліматичний довідник по території України. /За ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенко. – Кам'янець-Подільськ: 2011. – 107 с.
3. Бахтеев Ф.Х. Ячмень. – М. –Л., Сельхозиздат, 1955.
4. Борисоник З.Б. Яровой ячмень. – М.: Колос, 1974. – С. 255.
5. Коданев И.М., д-р с.-х. наук. Ячмень. М., Издательство «Колос», 1964.
6. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. –Одеса.:»ТЕС», 2012.- 635 с.
7. Кулик М. С. Погода и минеральные удобрения. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 138 с.
8. Росс Ю.К. К математическому описанию роста растений. – ДАН АН СССР, 1966, 171, № 2. – С. 481 – 483.
9. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264 с.
- 10.39. Thornley J. H.M. Mathematical models in plant physiology. A quantitative approach to problems in plant and crop physiology. – London; New York: Acad. Press, 1976, p. 318.
- 11.40. Idso S. B. A holocoenotic analysis of environment-plant relationships. – Agr. Exper. Station Univ. Minn., Tech. Bull. N 264, 1968, p. 1 – 147.
- 12.41. 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.
- 13.42. Галямин Е.П., Милютин Н.Н., Сиптиц С.О. Математическое моделирование процессов формирования урожая. – В кн.: Вопросы управления комплексом факторов жизни растений. 1978. – С. 51 – 65.

- 14.Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем – К.: КНТ, 2007. – 344 с.
- 15.Полевой А.Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений С-3 и С-4 при изменении концентрации CO₂ в атмосфере //В сб. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – С-Пб.: Гидрометеиздат, 2010. – Том XXIII. – С. 297-316.
- 16.Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
- 17.Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.
- 18.Дмитренко В. П. О моделях расчета урожайности сельскохозяйственных культур с учетом гидрометеорологических факторов // Метеорология и гидрология. – 1971. №5. – С. 84 –91.
19. Антоненко В. С. Моделирование влияния агрометеорологических условий на рост, развитие и формирование урожая озимой пшеницы. //Метеорология, климатология и гидрология, – Одесса, 1998. № 38. – С. 145 – 153.
- 20.Полевой А.Н., Кульбида Н.И. Моделирование формирование урожая озимой пшеницы в период весенне-летней вегетации в Украине // Метеорология, климатология и гидрология. – Одесса: 2001. – Вып. 43. – С. 128 – 135.
- 21.Simulating Biomass and Grain Yields of Barley and Oat Crops with the Sirius Wheat Model A. L. Fletcher, R. J. Martin, J. M. de Ruiter, P. D. Jamieson, R. F. Zyskowski Crop Modeling and Decision Support 2009, pp 192-202.
22. PH—Postharvest Technology: Numerical Simulation Static-Bed Drying of Barley N. Mandasa, M. Habteb Biosystems Engineering Volume 82, Issue 3, July 2002, Pages 313–319.
23. Simulation of competition between barley and wild oats under different managements and climates Robert Grant Ecological Modelling Volume 71, Issue 4, February 1994, Pages 269–287.

24. Growth, yield and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) in response to nitrogen uptake R.P. Ellis and B. Marshall *Journal of Experimental Botany* Volume 49, Issue 323Pp. 1049-1057.
25. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. *Field Crops Research* Volume 133, 11 July 2012, Pages 23–36.
26. Prediction of crop yield in Sweden based on mesoscale meteorological analysis Valentin L Foltescu *Meteorol. Appl.* 7, 313–321 (2000).
27. Using CropSyst Model to Predict Barley Yield under Climate Change Conditions in Egypt Samiha A. Ouda, Fouad A. Khalil, Gamal El Afandi, Mohamed M. Ewis *The African Journal of Plant Science and Biotechnology* ©2010 Global Science Books.
28. Selection of a Barley Yield Model Using Information–Theoretic Criteria. Marie Jasieniuk, Mark L. Taper, Nicole C. Wagner, Robert N. Stougaard, Monica Brelsford, and Bruce D. Maxwell *Weed Science* 56(4):628-636. 2008.
29. Development and use of a barley crop simulation model to evaluate production management strategies in north-eastern Australia P.J. Goyne, H. Meinke, S. P. Milroy, G. L. Hammer and J. M. Hare *Australian Journal of Agricultural Research* 47(7) 997 - 1015 Published: 1996.
30. Воскресенская Е.Н., Зеленько А.А., Полонский А.Б. Эль-Ниньо 1991-1992 г.г. и его проявление в Тропической Атлантике // *Морской гидрофизический журнал*. – 1992. – № 6. – С.28-36.
31. Воскресенская Е.Н., Полонский А.Б. Низкочастотная изменчивость гидрометеорологических полей и потоков тепла в Северной Атлантике // *Морской гидрофизический журнал*. – 2004. – № 4. – С.19-38.
32. Воскресенская Е.Н., Полонский А.Б. Североатлантические колебания и их связь с Эль-Ниньо – южными осцилляциями // *Морской гидрофизический журнал*. – 1992. – № 4. – С.23-30.
33. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України. /За ред. С.М. Степаненко, А.М. Польового. – Одеса: Екологія. 2011. – 694 с.

- 34.Польовий А.М., Кульбіда М.І., Трофімова І.Т., Адаменко Т.І. Моделювання впливу зміни клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтетичну продуктивність озимої пшениці в Україні //Український гідрометеорологічний журнал. – 2007.–№ 2.-С.76-91.
- 35.Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. – С-Пб.:Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006. – 396 с.
- 36.<http://leshoz.zp.ua/about/59-fziko-geografchna-harakteristika-sumckoyi-oblast.html> 1
37. <http://www.geograf.com.ua/geoinfocentre/20-human-geography-ukraine-world/279-ref19951106>
- 38.http://uk.wikipedia.org/wiki/Глобальне_потепління